

サステナブルデザインの視点からエネルギーマネージメントシステムと人間行動変容システムとの融合による統合的CO₂削減システムの研究～人間行動変容を促す新しいサステナブルデザイン～

著者	中村 光宏
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	11301甲第17247号
URL	http://hdl.handle.net/10097/00120815

サステナブルデザインの視点からエネルギーマネジメントシステムと
人間行動変容システムとの融合による統合的 CO₂ 削減システムの研究

～人間行動変容を促す新しいサステナブルデザイン～

The research of the integrated CO₂ reduction system by fusion of an energy
management system and a human behavior change system from the view
point of the sustainable design

～ New Approach of a sustainable design with a human behavior change ～

東北大学大学院環境科学研究科 物質・材料循環学コース

B3GD4502

中村光宏

第1章 序論

- 1-1 はじめに（本研究の背景）
- 1-2 エコでなく企業の“エゴ”、エコデザイン
- 1-3 魅力を創造するデザイン
- 1-4 ライフスタイルを創造するデザイン
- 1-5 これまでの曖昧なサステナブルデザイン
- 1-6 人間行動変容を促す新しいサステナブルデザイン
- 1-7 本研究の目的

第2章 サステナブルデザインを用いた環境配慮商品への応用

- 2-1 序論
- 2-2 デザインコンセプトモデル製作
- 2-3 動作モデルの製作
- 2-4 結果
- 2-5 結論

第3章 サステナブルデザインを活用した DC/AC ハイブリッド制御システム

- 3-1 序論
- 3-2 システム概要
- 3-3 デザインコンセプト
- 3-4 デザインアイデア展開
- 3-5 ラフモックによる検証
- 3-6 実施デザイン・実施建築設計
- 3-7 DC/AC ハイブリッド制御スマートビルディング
- 3-8 結果
- 3-9 結論

第4章 人間行動変容を促す新しいサステナブルデザイン

- 4-1 序論
- 4-2 行動分析のためのフェリカ統合行動履歴（ログ）収集シスム
- 4-3 行動分析のためのフェリカ統合行動履歴（ログ）収集機能検証システム
- 4-4 コミュニティ形成を意識した多目的給電ステーション（IDOBATA
- 4-5 21世紀型の新しいコンパクトシティ（統合的 CO2 削減システム）構築のための要件

第5章 まとめ

謝辞

参考文献

第 1 章 序論

第1章 序論

1-1 はじめに（本研究の背景）

20 世紀の後半の約 20 年間、そして、21 世紀に入り約 10 年間、合計 30 年間、企業にて工業製品の研究開発に携わってきたひとりとして、これまでの大量生産・大量消費に加担してきたことを反省することからはじめなければならないと思う。地球、この限りなく広大な宇宙空間の中で、これほどまでに豊かな星はないだろう。18 世紀半ばから 19 世紀にかけて起こった産業革命以降の人間の活動、主に、経済活動が生み出す温室効果ガスによって今日の地球温暖化が引き起こされたことは言うまでもないことであろう。

特に 20 世紀後半の 50 年間はそれまでの私たち人類が行なってきた経済活動が必要不可欠をはるかに超え少なからず地球環境への影響を急加速させたことは認めざる負えない事実である。その反省をもとに 20 世紀型の先端技術と大量消費が市場を支配した時代からの脱却を求め、21 世紀は生活者の感性と知性がビジネスを創造する時代へパラダイムシフトが起きようとしている。（Figure1-1）

パラダイム（一時代の支配的なものの見方）シフト

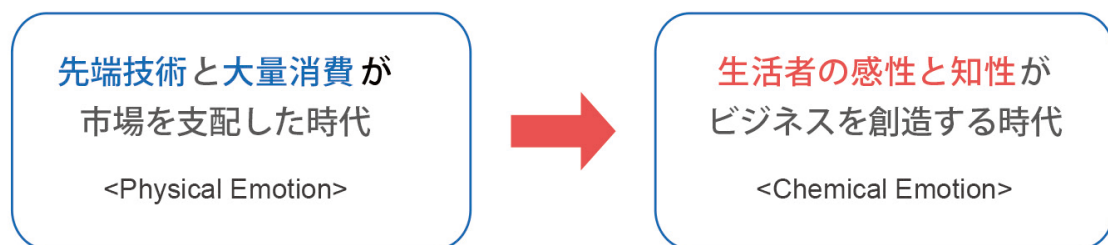


Figure 1-1 The paradigm shift going to occur in the 21st Century

そして、地球温暖化の原因である温室効果ガス（CO₂）削減のために生活者の感性と知性がリードするサステナブルデザインがキーワードとなる。本論文は、これまでのサステナブルデザインが抱えている定義の曖昧さを明らかにし、これまでのサステナブルデザインとは異なる人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインの定義を行い、「サステナブルデザインの視点からエネルギーマネジメントシステムと人間行動変容システムとの融合による統合的 CO₂ 削減システムの研究」を通じて、人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインの定義が明確であるか、そして、それを達成するために、どのような要件が必要であるかについてまとめたものである。

1-2 エコでなく企業の“エゴ”、エコデザイン

まず、人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインを提示する前に、「エコデザイン」について考えてみたい。「エコデザイン」と言われているもののほとんどが、生活者が欲しいものになっているのだろうか。それは、企業のメッセージでしかなく、実際には生活者が購入して初めてエコなデザインと言えるものであり購入してもらえなければ、単なる、企業の“エゴ”である。Figure 1-2 の左側はトウモロコシから作られるポリ乳酸をベースにしたプラスチックを採用した「エコデザイン」と言われるソニーのヘッドホンステレオ・ウォークマン（以下、ウォークマン）である。右側がアルミのボディを使用したウォークマンになる。ほぼ同時期に発売された2機種であるが、右側のウォークマンは価格が左側のものより高いが日本の国内において多くの生活者に受け入れられるのとなった。



Figure 1-2 Headphone Stereo Cassette Player, WALKMAN

ウォークマンは、外出時にヘッドホンを用い上質のステレオサウンドで音楽を聴くことが可能なポータブル（携帯）端末であるが故にそのためのコンパクトさが求められる機器である。左側のウォークマンは海外向け仕様の廉価モデルを日本国内向けに環境配慮商品として設えたものである。そのため海外では比較的安価な電源として手に入れやすい単3乾電池を採用、また、サイズも多少大きくても気にならない海外、特に、北米の生活者に向けた商品のために、本体の内部部品なども右側のウォークマンに対して大きく設計されている。それに対して右側のウォークマンは日本国内向けをメインに企画されたモデルであり、かばんやポケットに入れて持ち運ぶ生活者のために薄型の2次電池（ニッケル水素）を採用しており内部部品のサイズもコンパクトにデザインされている。更に、左側のウォークマンの本体はプラスチックでできており、アルミニウムの本体を採用した右側のウォークマンに対して強度の観点からも厚く設計する必要がある全体

的にサイズが大きくなる。これらのことから右側のウォークマンが縦横厚みのサイズが小さくポケットやカバンに入れた時にその大きさが邪魔をしないデザインになっており多くの生活者に受け入れられた。また、ポケットやかばんに入れても操作がし易いようにリモートでコントロールが可能な仕様になっており使い勝手にも配慮されたものである。更に、右側のウォークマンは、機能性、使いやすさに加えて、生活者が手にとってみたくなる審美性においても魅力的にデザインされたものになっており左側のそれに対して多くの生活者に受け入れられたと考える。多くの生活者に受け入れられるものになるために、商品開発において、まず、店頭で生活者が手に取ってくれるための第一印象が重要であり、その後の購買につなげるために商品のデザインが果たす役割が大きい。では、本当に生活者は魅力的なデザインに関心があるかについて確認をしたい。

1-3 魅力を創造するデザイン

公益財団法人日本産業デザイン振興会と goo リサーチが 2007 年に調査したデザインに関する意識調査によると以下のような結果が得られた。(参考文献 1.)

① 各世代を通じて 72%がデザインに興味を示す

Figure 1-3 が示すように「デザインに対する関心・興味があるかどうか」の問いに対し、「以前から大変興味がある (19.1%)」「ここ数年とても興味がでてきた (9.2%)」「興味がある (43.6%)」を合計すると 71.8%となり、おおよそ 4 人に 3 人はデザインに対し関心を示していることがわかった。男女別での合計では、男性 68.9%、女性 74.7%と女性の方が高い。年齢別の合計は、10代 81.7%、20代 77.6%、30代 64.3%、40代 67.7%、50代以上 68.2%となり、30代が最も低い年齢層による相違はあまりなく、デザインは全ての世代に共通する関心事項であることがうかがえる。

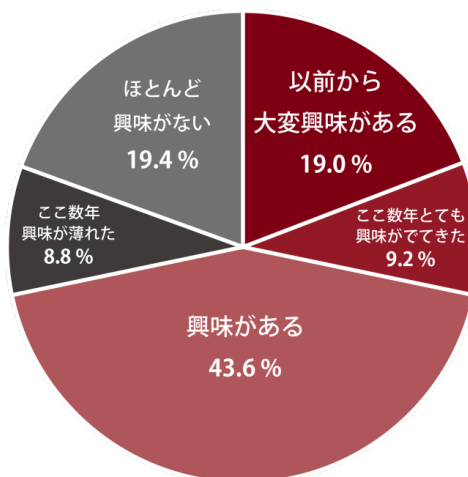


Figure 1-3 Please tell me the interest about your design.

② デザインは「美しさ」「独創性」だけでなく「機能性」「使いやすさ」も含め商品性全体の質をイメージ

デザインが意味するものとはどのようなものかを聞くため「デザインに関係ある要素は何か（複数選択可）」を尋ねたところ、最も高かったものは「美しさ（77.4%）」であり、続いて「機能性（72.8%）」「独創性（67.6%）」「使いやすさ（66.8%）」が並んだ。また、「新規性（18.9%）」「提案性（24.3%）」「話題性（29.4%）」の率は相対的に低く、「目新しさだけの要素はデザインとは関係がないもの」との認識をしていることがわかる。この設問回答には性別差、年齢差がほとんどなく、多くの人々がデザインを同じような意味でとらえていることがわかった。（Figure 1-4）

また、一番重要な要素を一つだけ選んでもらったところ、「美しさ（20.0%）」「機能性（19.6%）」「独創性（19.3%）」「使いやすさ（17.6%）」がほぼ横並びとなった。このことから「美しさ」「独創性」などの「視覚性」を重視するタイプと、「機能性」「使いやすさ」などの「実用性」を重視するタイプの2つが均等に併存していることがわかり、デザインを外観だけでなく商品性全体のものと認識していることがうかがえる。

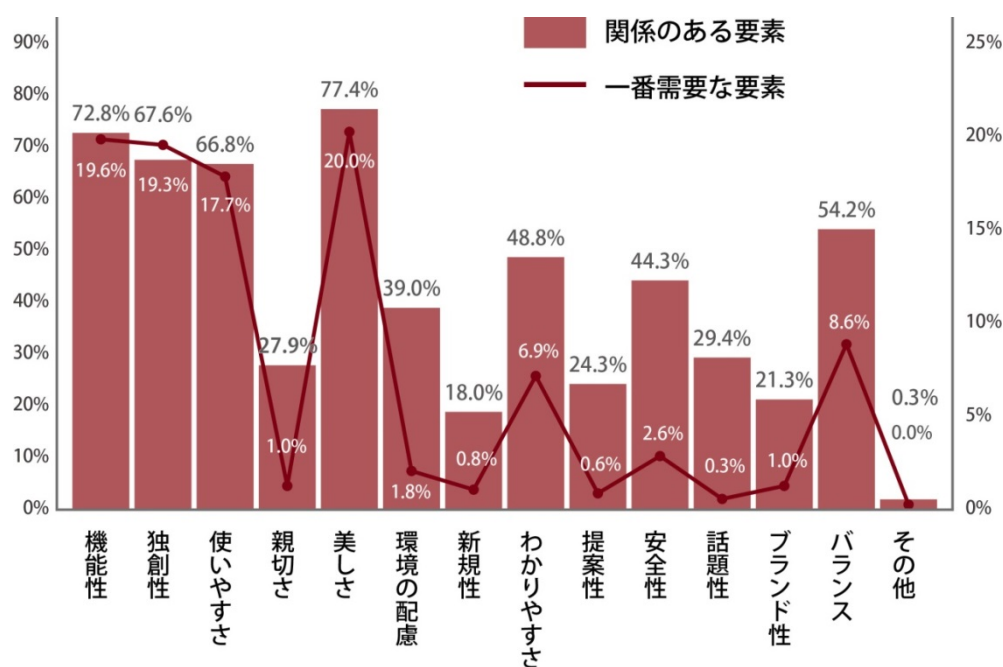


Figure 1-4 What do you think an element about the design is ?

③ 「魅力」を感じさせるものがデザイン

生活者にとって「よいデザイン」とは一体どのようなものなのか。逆に「よくないデザイン」とは一体どのようなものなのか。商品を見た時に「デザインされていると感じるポイント」と「デザインされていないと感じるポイント」についての問いに対して、最も高かったものは「見た目が洗練されている（72.2%）」であり、次いで「機能性に優れている（71.7%）」「使いやすい（64.9%）」となり、「視覚性」と「実用性」が判断のポイントになっている。その中で「最も重要なポイント（一点のみ回答）」については、「機能性に優れている（21.3%）」が「見た目が洗練されている（18.1%）」を上回り、さらに「魅力を感じられる（20.8%）」と並ぶ結果となった。（Figure 1-5）

これは「デザインされていないと感じるポイント」においても同じことがいえ、「魅力を感じられない」が最も気になるポイントであると答えた人が 23.1%と、最も高い数値を示した。これらのことから、デザインには「視覚性」も「実用性」も重要だが、それと同等に「魅力を感じるかどうか」が重要視されているということがわかる。もちろん「魅力」の中には「見た目の印象」も「機能性」も含まれているであろうことが推測され、さらに「魅力」と言っても「何が」というのは一概に言えないが、その一概に言えない「魅力というものを感じさせる要素がデザインである」と認識されていることをうかがわせる。

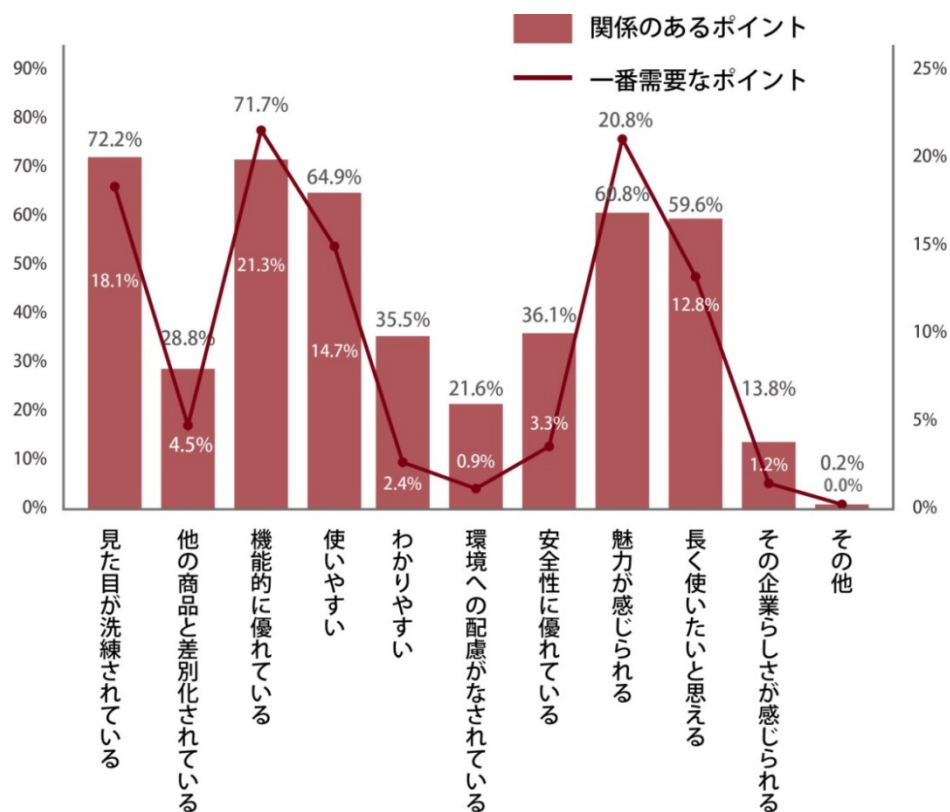


Figure 1-5 When seeing goods, what is the point felt to be designed tightly?

④ 商品購入時に重視するのは「機能性」「印象」「使いやすさ」「価格」の順

次に「商品を買う時に気にするポイント」に関する問いで最も多かったものが「色・模様」であり、77.4%であった。また「商品を買う時に一番重要な要素を一つ選択」の問いに対しては「機能性」(25.4%)であり、次いで「見た目の印象(21.0%)」「使いやすさ(16.9%)」「価格」(16.3%)となった。(Figure 1-6)

これらのことから、生活者が商品を選ぶ際のポイントとして、外見的な印象は大切だが、それが実際の機能や使い勝手などを伴い、デザインが適正な内容となっているかが重要なファクターとなっているものと推測される。

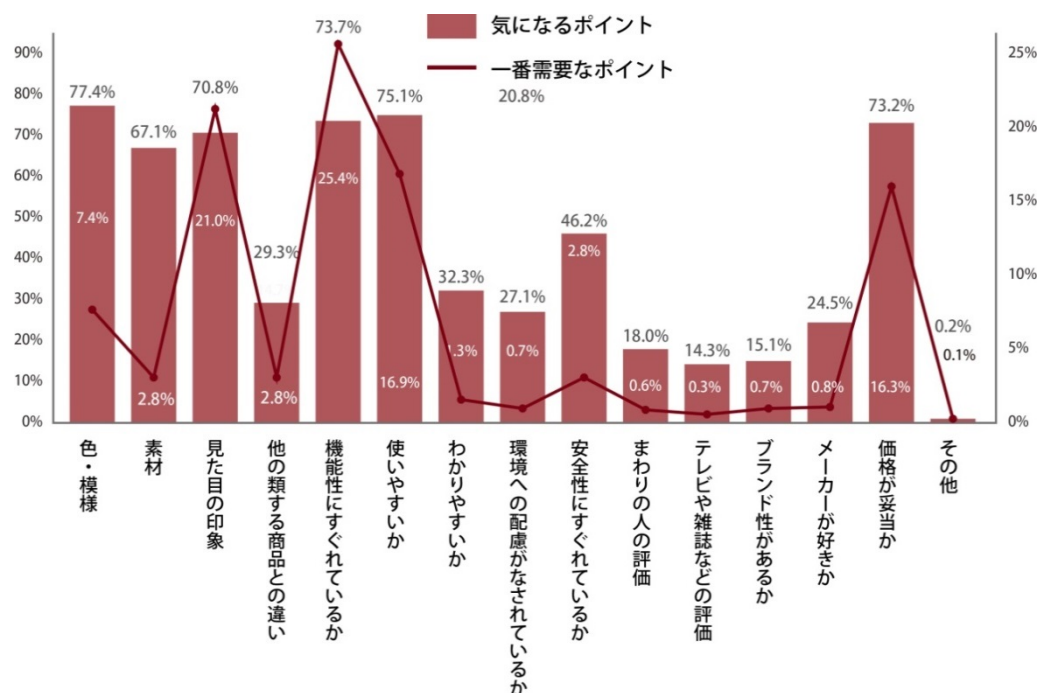


Figure 1-6 When buying goods, what is a minded point?

このように生活者は各世代を通じてデザインに興味があり、そのデザインが意味するところは「美しさ」や「機能性」であり、デザインされていないと感じるポイントでは「商品の魅力を感じない」、裏を返せば、「魅力ある商品」がデザインされていると考えていることがわかった。更に、この魅力の創造によりデザインには生活者に与えるもう一つの大きな機能がある。

1-4 ライフスタイルを創造するデザイン

それは、デザインの魅力が、生活者の心を動かし、生活者のライフスタイルを変えることができるという点である。

ソニー（株）が1979年に発売したウォークマンは、生活者の音楽を聴くライフスタイルを大きく変えるものであった。それまで音楽を臨場感あふれる音（ステレオサウンド）で聴こうと思った時に生活者は家の中の大きなステレオセットを使用して聴くしかなかった。



Figure 1-7 Sony Listen 5, 1972

また、屋外でパーソナルにステレオサウンドを聴くためには、これも少し大きめのラジオカセットテープレコーダーという商品を担いで持っていくしか方法がなかった。



Figure 1-8 Sony CF-6500, 1977

そこで、屋外や旅行中の飛行機や列車の中でもステレオサウンドが楽しめるようにモノラルのカセットテープレコーダーからスピーカー、マイク、録音機能を省きステレオ化したウォークマンが誕生した。ボディーカラーをブルージーンズにも似合うメタリックブルーを採用。70年代後半からファッションがカジュアル化していったこともあり、その後、当時の若者に爆発的に受け入れられ音楽は手軽に外に持ち出せるものだというライフスタイルを生み出した。



Figure 1-9 TPS-L2, 1979
(Founder's WALKMAN)



Figure 1-10 TR-55, 1955
(Founder's Transistor radio)

もちろん、その後のウォークマンのデザインはカジュアル路線をつき突き進むわけだが、同時に外に持ち出すものであるから、小型軽量化が必要となり、そのサイズ目標はメディアサイズであった。WM-20 はついにカセットケースサイズを実現。そして、ウォークマンは常に世界最小最軽量をめざし開発され、ソニー（株）の商品イコール軽薄短小という言葉すら聞かれるようになった。これは、ソニー（株）が小型のトランジスタラジオ（TR-55）を発売してから以降のことかもしれないが、確実にウォークマンが作った文化であり、ウォークマンを代表するパーソナルオーディオの商品カテゴリーだけでなく、ビデオカムコーダーの商品カテゴリーまで影響を及ぼすことになる。パスポートサイズの小型カムコーダーが商品化され他社を含め市場を活性化した。



Figure 1-11 WM-20, 1983 (WALKMAN of the cassette case size)



Figure 1-12 CCD-TR55, 1989
(the Portable Video Recorder of the Passport Size)

もちろん、屋外で使用する機器として、生活者の利便性を考え小型軽量化を目的に商品開発をしてきたわけだが、このことにより省資源のものづくりが可能となり、結果的に少なからず地球温暖化に寄与してきたことも事実である。



Figure 1-13 Stereo Headphone MDR-3, 1979 (included Founder's WALKMAN)

さて、ウォークマンは登録商標である。そして、実際の商品カテゴリーはヘッドホンステレオである。本体だけではなくヘッドホンがなければ成立しない商品である。ウォークマンが発売される以前のヘッドホンは家庭用の大きなものばかりでヘッドバンドを頭の上に載せて、ハウジングと呼ばれるスピーカー（ドライバーユニット）が入った部分を音漏れがしないように耳を覆って装着するモノ（耳覆いタイプヘッドホン）ばかりだった。そこで、外に持ち出すためにハウジングの部分が耳を覆うのではなく、耳の上に載せるタイプ（耳のせタイプヘッドホン）にし、軽量化を図ったのである。これにより格段に外に良質の音楽を持ち出すことが可能となった。そして、ウォークマンが小型軽量化されるごとにヘッドホンも進化していった。1985年に発売されたMDR-E252は耳の中にドライバーを直接入れるタイプのもので、MDR-3に代表される耳のせタイプのヘッドホンが抱えていた課題である外への音漏れを解消しつつ非常にコンパクトで、かつ、これまでの頭の上にヘッドバンドを載せて装着するヘッドホンとは違いヘアスタイルを気にすることなく音質の良いステレオサウンドが聞けるインナーイヤータイプのヘッドホンであった。

ヘッドバンドがなく、イヤードもなく、すべてを取り去った。純粹に音のエッセンス。この意味から「NUDE」と命名され、その広告もそのコンセプトを生活者に伝えるために斬新なものであった。（Figure 1-14）



Figure 1-14 MDR-E252, 1979 (Stereo Headphone without Head Band)



Figure 1-15 Advertisement of MDR-E252 N・U・D・E , 1979

ウォークマンが小型軽量化されてくると、本体はポケット、かばんやバッグの中にしまわれてしまいウォークマンを持っていることすらわからなくなってしまう。しかし、ヘッドホンはインナーイヤータイプになったとしても、耳に装着された姿を他者が確認することができ、MDR-E222は12色のカラーバリエーションを持ち、生活者が自分らしさを表現するファッションアイテムとしても使われるようになった。このように、デザインは人々の生活に深く浸透し、そのライフスタイルさえも変えてしまう力を持っている。そして、その中でも商品のデザインは大量生産・大量消費の下、その影響力は計り知れないものがある。この強い影響力があるがゆえに、新しいサステナブルデザインを提案するにあたりこの影響力を最大限に活用するべきである。そして、その前にこれまでのサステナブルデザインがどのように解釈されていたかを確認したい。



Figure 1-16 MDR-E22 with 12 colors variation

1-5 これまでの曖昧なサステナブルデザイン

サステナブルデザインを考える上で、建築分野、商品のデザイン（以下、プロダクトデザイン）分野における定義について確認をしておきたい。

1-5-1 建築分野におけるサステナブルデザイン

建築の分野では早くから使われている言葉である。ある意味、ライフサイクルが長い建築物にはしっくりくる言葉かもしれない。建築におけるサステナブルデザインは実際に建設を着工する前の段階で、環境性、経済性、安全性、社会性などのあらゆる要素に関する解析を行い、地球環境にやさしい最適な設計を行うことを意味している。

建築物が環境に与える影響はかなり大きい。たとえば、米国では、商業ビルと住宅で消費されるエネルギー量は、総エネルギー量の約 40%、電力の 70%、原料の 40%、原料の 40%、真水木供給量の 12%を消費されていると言われている。また、温室効果ガス排出量の 30%を占め、1 億 3,600 万トンの建築廃材を排出している。建築の分野でこのように環境に配慮した設計・建築手法をとりいれた建築をめざそうとする研究などが進んでいることはこのような背景があるからである。（参考文献 4.）

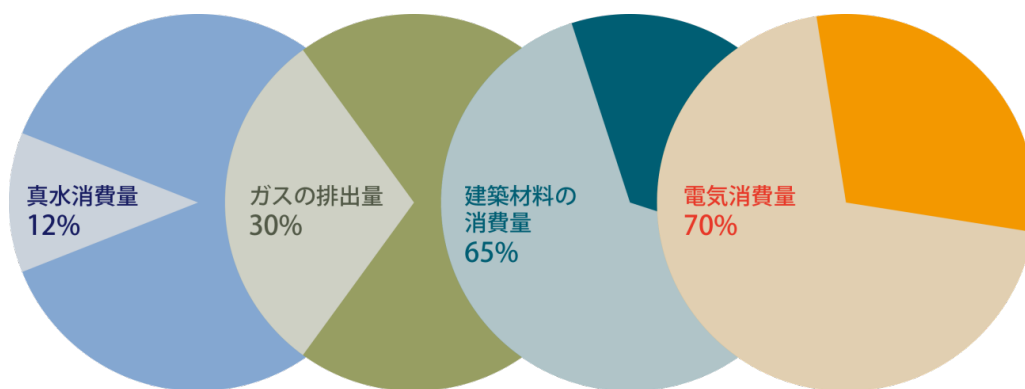


Figure 1-17 Influence to the environment of the construction field in USA

そして、東京大学名誉教授、界工作舎の難波和彦は建築家であるが、建築の分野では「サステナブルデザイン」に造詣が深い。そして、「10+1」LIXIL 出版（参考文献 5.）で、以下のようにサステナブルデザインについて語っている。

サステナブルデザインを直訳すれば「持続可能なデザイン」である。何を持続させるかと言えば、言うまでもなく地球環境である。サステナブルデザインとは一言で言えば地球環境の持続に寄与するようなデザインである。環境負荷の小さなデザインをめざすことだといってもよい。

建築が建物の長寿命化や省エネルギーの問題に取り組もうとするのはそのためである。建築はさまざまな面で資源とエネルギーを消費する。建設材料の生産や建設プロセスだけでなく、建物の使用においても大きなエネルギーが消費される。さらにスクラップ・アンド・ビルドがうみ出す建設廃材は産業廃棄物のなかでも大きな割合を占めている。建築はさまざまな面で地球環境問題に密接に関わっている。

こうした課題に取り組もうとするのが建築分野でのサステナブルデザインであると定義している。ただし、これだけでは、「エコデザイン」との差別化を見出すことができない。

1-5-2 プロダクトデザイン分野におけるサステナブルデザイン

また、プロダクトデザインの分野で、サステナブルデザインに造詣が深い東京造形大学の益田文和教授はサステナブルデザインについて、サステナブルデザインガイドブック（参考文献 6.）で以下のように定義している。

サステナブルデザインは地球環境との調和を図りつつ、社会の形や文化の質をリデザインして持続可能でかつ循環型の社会に近づけていくプロセスである。持続可能な社会を実現するためには、技術イノベーションと社会イノベーションの両輪が必要だが、今後、技術イノベーション以上に社会イノベーションが求められる。

言い換えれば、サステナブルデザインは、社会そのものに働きかけるグランドデザインである。と定義している。

以下は、東京造形大学サステナブルプロジェクト専攻領域の特徴より抜粋である。（参考文献 7.）

社会プロジェクト：新しい社会の仕組みを提案しデザインする。地域の社会構造、行政と産業、交通や物流、エネルギーなどの社会システムがテーマである。文化的な多様性を前提としながら、サステナブルな社会にアプローチするさまざまなシナリオを描いていく。その過程で、ストレスから開放されたところ豊かな生き方を目指すライフスタイルを提案し、それを支える道具や仕組みをデザインする。

文化プロジェクト：新しい価値観やライフスタイルを提案しデザインする。コミュニティや家族の構造や人間関係の変化、コミュニケーションの仕組みと内容、教育と情報、仕事と遊びなどあらゆる場面での価値観の変化がテーマである。文化的な多様性を前提としながら、サステナブルな社会にアプローチするさまざまなシナリオを描いていく。その過程で、ストレスから開放されたところ豊かな生き方を目指すライフスタイルを提案し、それを支える道具や仕組みをデザインする。

生活プロジェクト：新しい生活環境を提案しデザイン。都市の生活環境や施設、住居と暮らし、製品とサービス、生産と消費などがテーマである。

環境効率の向上を目標においた製品の企画開発やサステナブルな消費を誘導するサービスの企画等について、素材や機能を含む技術的課題から、求められる生活の質まで、総合的なデザインの開発に取り組む。すぐにでも実現可能なものから、先進的なアイデアまでを幅広く提案し具体的なデザインとして提示する。

要約するとサステナブルデザインは地球環境との調和をはかりつつ、社会そのものに働きかけるグランドデザインである。と定義し、それを実現するために、新しいコミュニティ形成や新しい社会システム、新しい価値観の提案を行う。また、環境効率の向上を目標においた製品の企画開発やサステナブルな消費を誘導するサービスの企画を提案し素材や機能を含む技術的課題から求められる生活の質まで総合的なデザインの開発に取り組む。とあるが、どれも **Action Plan** がなく具体性に欠ける。

考え方としては賛成であるが、実際には、そのアクションプランが見えてこない、**Think Global**、**Act Local** という言葉で言い換えるなら、**Act Local** が抜けていると思われる。具体的なアイデアを社会で試したことがない。まずは、小さくてもよいから社会で試してみることが重要である。

建築分野で言っている「エコデザイン」、プロダクトデザイン分野でいっている「社会そのものに働きかけるグランドデザイン」、どちらも必要なことであるが片方だけではサステナブルデザインとして機能していないと考える。これが、サステナブルデザインが抱えている定義のあいまいさを表現しているのかもしれない。それぞれが分離していることで、「エコデザイン」と言えば良いのではないか？「環境配慮したサービス・活動」と言えば良いではないかと言ったことになる。そして、重要なことは生活者の行動が CO₂ 削減のために変化することである。つまり、生活者が環境に配慮したライフスタイルを選択したいという行動（気持ち）への変化を促すための施策が両分野において見受けられないことである。

このあいまいさを取り除くために、人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインを提案する。

1-6 人間行動変容を促す新しいサステナブルデザイン

人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインは、「エゴ」ではなく、使いやすさ、機能性、更に、環境性能を満たしつつ生活者が手にとってみたくなる審美性においても魅力的にデザインされたものと環境に配慮したライフスタイルを選択したいという行動（気持ち）への変化を兼ね備えたものである。（Figure 1-18）

言い換えれば、商品自体が地球環境に配慮しているだけでなく、生活者が地球環境に配慮した行動へ変化を促すためにプログラムを意識したもので、且つ、人間行動変容のプログラムが計画されたものである。

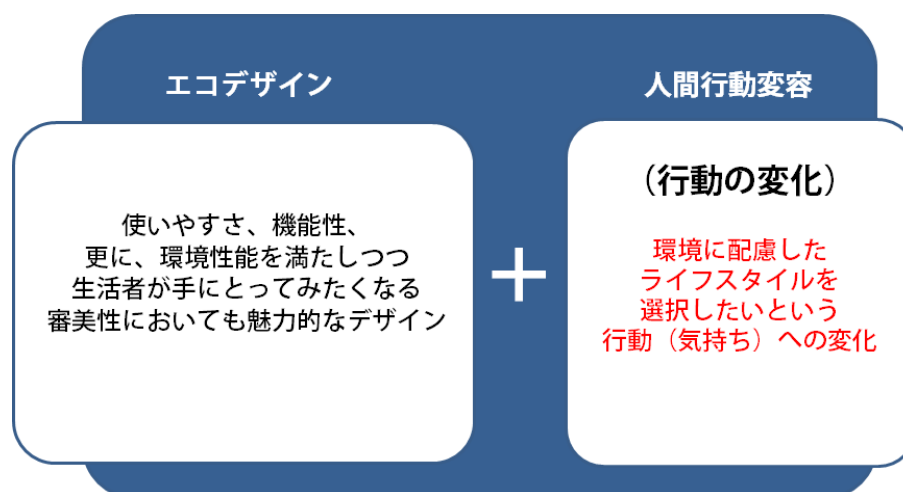


Figure 1-18 New Approach of a sustainable design with a human behavior change

そして、もう一度、環境配慮商品に目を向けてみるとこれまでの多くの環境配慮商品は環境性能だけが特筆しておりデザイン的な視点からみた場合に魅力的なものに設えられていたのか。必ずしもそうではなかったように考える。生活者が求めている「魅力のある商品」という意味で、機能としての環境配慮がいくら満足していたとしても、「美しさ」といった観点からいかに魅力的に設えるかが今後の環境配慮商品のデザインにおいて最も重要な要素になるであろう。言い換えれば、環境性能をあげたら商品価値がさがったというのでない、環境性能向上と両立して、商品価値があがるものが求められている。そのために、サステナブルデザインが果たす役割が重要である。

また、人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインを検討するにあたり、生活者（人間）の行動の変化（以下、人間行動変容）が CO₂ 削減に寄与するかを検証しておきたい。（参考文献 8.）

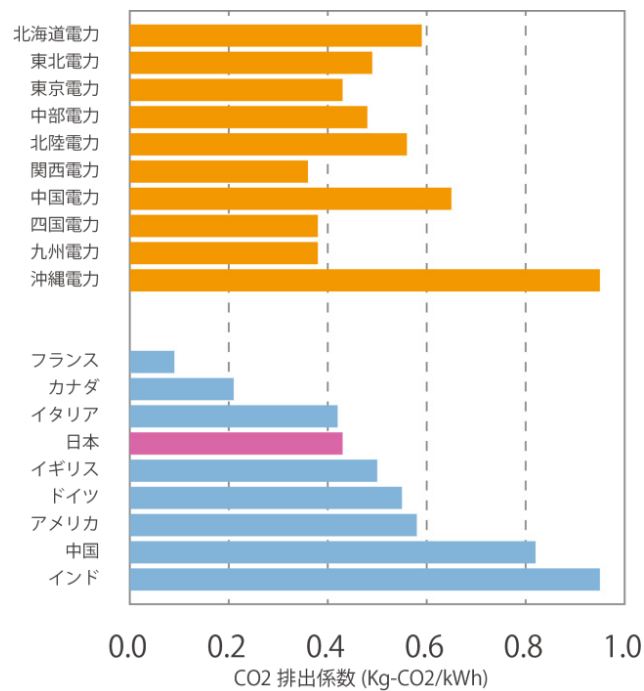


Figure 1-19 Japanese CO₂ discharge coefficient and country-by-country comparison

2008 年度電気事業者別 CO₂ 排出係数（環境省平成 21 年 12 月 28 日公表を参照）
 国際比較は東京電力ホームページより CO₂ 排出原単位の国際比較

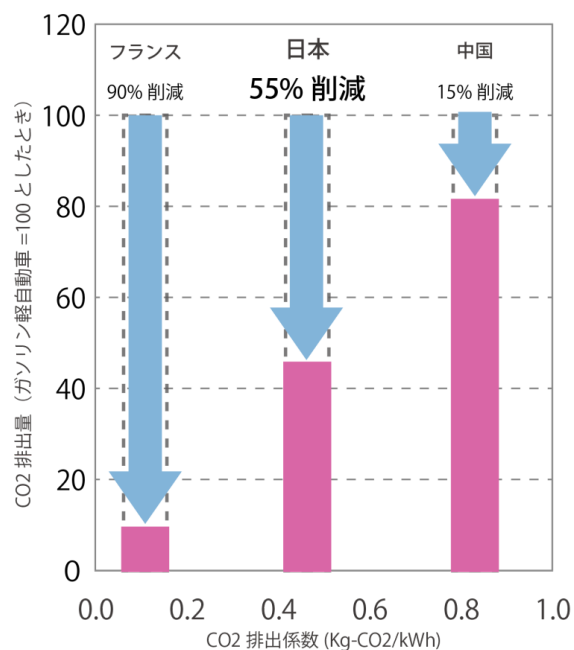


Figure 1-20 the Introduction Effect of the Electric Vehicle

「身近な交通の見直しによる環境改善に関する研究」実走行に基づく電気軽自動車 Re1 とガソリン CVT 軽自動車の比較より（国立環境研究所）

Figure 1-19 は日本の CO₂ 排出係数及び国際比較である。日本のそれは、フランスの約 4.5 倍、中国の約 1/2 である。 **Figure 1-20** に電気自動車の導入効果を示しているが、日本では、ガソリン車の代わりに電気自動車 (EV) を導入すると CO₂ 排出量を約半分に削減できることがわかる。そして、ガソリン車の利用をやめ、電気自動車(EV)、もしくは、地下鉄など公共交通機関を利用促進するために生活者の行動の変化を促す仕組みがあれば大きな CO₂ 削減の効果が期待できる。すなわち、電気自動車(EV) だけを作っても CO₂ 削減のための施策には限界がある。更なる CO₂ 削減のためには、生活者の「省エネ行動」への変化が必要とされる。如何に生活者の行動の変化が重要であるかを伺い知ることができる。

そして、統合的 CO₂ 削減システムを考えると同時に「エコデザイン」だけでは限界がある。更なる CO₂ 削減のためには生活者の行動の変化（人間行動変容）が必要となる。

1-7 本研究の目的

本研究は「サステナブルデザインの視点からエネルギーマネジメントシステムと人間行動変容システムとの融合による統合的 CO₂ 削減システムの研究」を通して**人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインの定義が明確であるか、そして、それを実現するための要件を明らかにするものである**

そのために、第 2 章ではサステナブルデザインを用いた**環境配慮商品**への応用、第 3 章ではサステナブルデザインを活用した**DC/AC ハイブリッド制御システム**、第 4 章では**人間行動変容を促すための新しいサステナブルデザインの検討**を行った。

第2章 サスナブルデザインを用いた環境配慮商品への応用

第2章 サステナブルデザインを用いた環境配慮商品への応用

2-1 序論

人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインを達成するために、第2章では「人間行動変容を促すための環境配慮商品を“学ぶ”」について検討した。

“学ぶ”にあたり「こどもたち」を対象にした。それは、こどもたちの持つ、純粋な気持ち、探究心、好奇心、エネルギーはダイレクトにその反応を私たちに伝えてくれるからである。こどもに楽しんで使ってもらえるエコのかたちをつくることで、環境配慮について、“学ぶ”。

そして、テーマは

「こどもといっしょに“学ぶ”エコのかたち」

である。

こどもたちといっしょに“学ぶ”道具として、ユニセフとソニー（株）が2006年からこの10年間行っているEYE SEE 子ども写真プロジェクトに注目しデジタルカメラを選んだ。



Figure 2-1 EYE SEE Project by UNISEFF

(ソニー株式会社 CSR・環境・社会貢献ホームページより)

世界には自分の写真もなければデジタルカメラに触れたこともない子どもたちがまだ大勢いる。EYE SEE はそんな子どもたちに、デジタルカメラの使い方、写真を通して世界を表現する方法、そして他のこどもたちとは普段共有できない、それぞれが向き合っている問題について写真を通して伝える方法を提供する写真プロジェクトである。これに深く賛同するものがあったからである。(Figure 2-1)

更に、こどもといっしょに電気について考えることにし“発電”をテーマにした。これは、私たちの身のまわりは多くの電気製品で埋め尽くされている。もはや電気がなくては生活ができないレベルまで現代社会は来ている。家の中はもちろんのこと、職場でも、エレベータ、エスカレータ、コピーマシン、ラップトップ PC。そして、家と職場との行き来においても、電車やスマートホンなど、電気は人間が生きていく上で空気のようになくてはならないものになっている。それに反して、我々、おとなもそうだが、こどもたちも、もはや電気の大切さに気づくことがないだろう。こどもたちといっしょに、楽しみながら電気をつくるしくみを体験し、限りある電気の大切さを“学ぶ”こととした。(Figure 2-2)

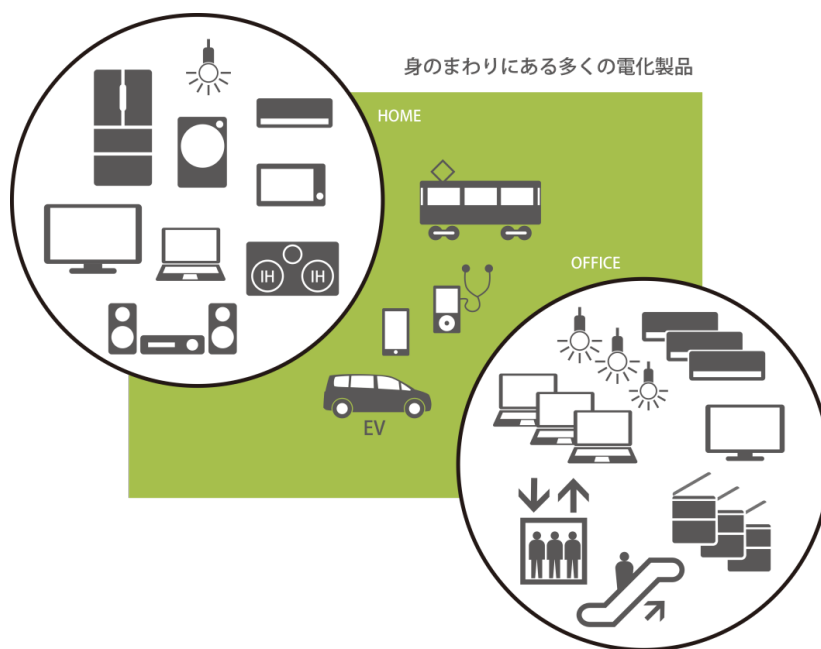


Figure 2-2 Much Electric Appliance around our life

先進国のこどもたちには、電気の大切さを知ってもらいたい。それを伝えたい、その先には、電気がないのであれば作れば良い。それを可能としたものである。身体を使って発電する。一生懸命頑張ったけれど、得られる電気は、たった1枚の写真をとることしかできない。普段、「何げなく使っていたデジタルスチルカメラってこんなに電気が必要なんだ。」という“学び”をこどもたちに与えたかった。

そして、プロダクトデザイナーとして考える“エコ”を様々なカタチでビジュアライズし、良いものは良い、悪いものは悪いと素直に答えてくれるこどもの純粋な気持ちを“学ぶ”ことで、生活者に手に取ってもらえる環境配慮商品のデザインに新たなインスピレーションを取り入れ、未来への新しい経験を与えられるよう「人間行動変容を促すための環境配慮商品を“学ぶ”」について検討した。

2-2 デザインコンセプトモデル製作

“発電”と言ったときに、身近にある“手動発電”を使って“学ぶ”ことにした。ただ、手回しは、子供が回すには非常に大きな力を必要とするので、手で回すのではなく、子供が全身を使って発電する方法について検討した。



Figure 2-3 Kinetic generation of electricity by hand

また、子供が興味を持って動かしてくれる動作についても検討を重ね、“ころがす”、“回す”、“引っ張る”といった動作がアイデアとしてでてきた。

参考になったものは、**Figure 2-4** に示すように木製でできたこども用玩具である。



Figure 2-4 Referenced toys of the idea of generating electricity by kinetic

Figure 2-5 は“ころがす”についてのアイデアスケッチになります。

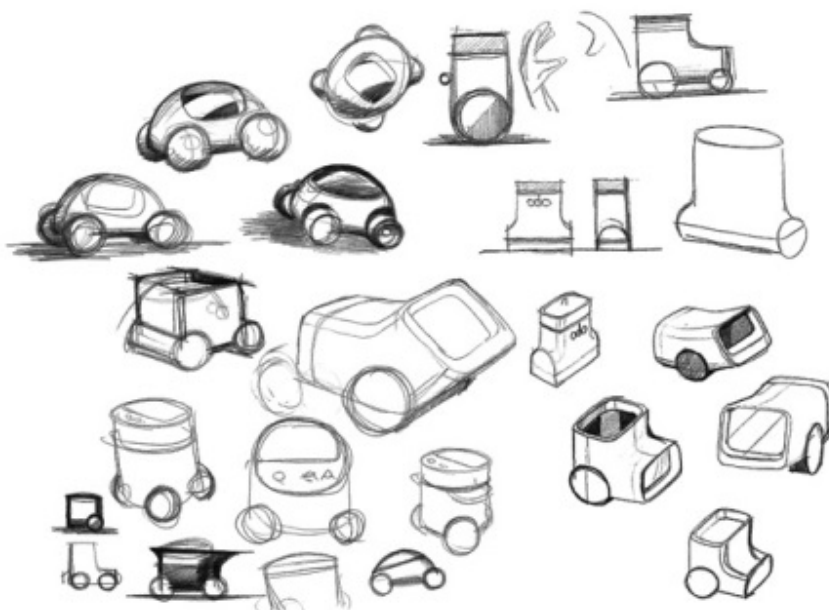
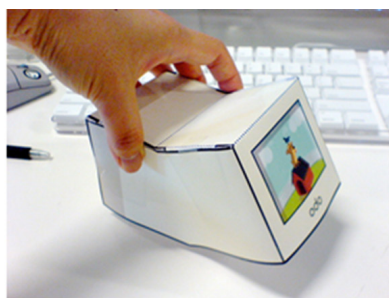


Figure 2-5 the idea sketch for rolling

実際には、“ころがす”だけでなく、“回す”、“引っ張る”といった動作のアイデアについても、サイズを含めそれが使いやすいかを考えるために、ペーパーモックを製作し、そのアイデアを確実なものとした。大きさや発電のしやすさを検討した。(Figure 2-6)

ころがす
発電と写真をみる



まわす
発電と写真を撮る



ひっぱる
発電と音楽を聴く

Figure 2-6 the study size to easy for generating electricity

更に、材料についても、環境に配慮した材料を採用することにし、植物由来のプラスチックやエラストマ（シリコーンゴム）、そして、ヘッドホンのイヤープッドには、再生材を選んだ。そして、完成した **odo** デザインコンセプトモックが **Figure2-7** である。



Figure 2-7 Final Design Concept Mock

2-3 動作モデルの製作

こどもといっしょに“学ぶ”ために、デザインコンセプトモデルの中から“デジタルスチルカメラ”、“フォトビューワー”の動作モデルの製作を行った。



Figure 2-8 Design Concept Model of Digital Still Camera

デザインコンセプトモデルは2つのカメラの覗き窓（ファインダ）に指をいれて発電する方法（回転運動を上下運動に変換し発電する方法）を採用したかったが、こどもの力では、デジタルカメラを駆動するだけの発電量が得られないことがわかった。そこで、色々な発電の方法を検討した。

いずれも、振動発電ではなくダイナモを使用した回転による発電である。

検討案 1：アコーディオンのようにポンピングで電力をチャージする。

検討案 2：シャッターを押しこんで電力をチャージする。

検討案 3：転がして電力をチャージする。

検討案 4：ひねりの動作で電力をチャージする。

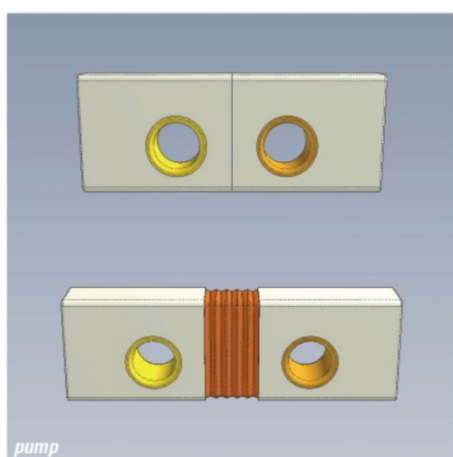


Figure 2-9 Study (1) for working model

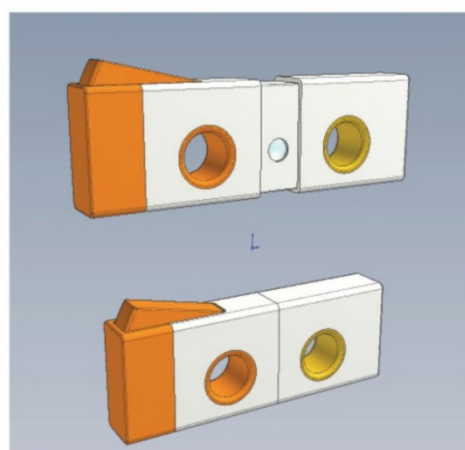


Figure 2-10 Study (2) for working model

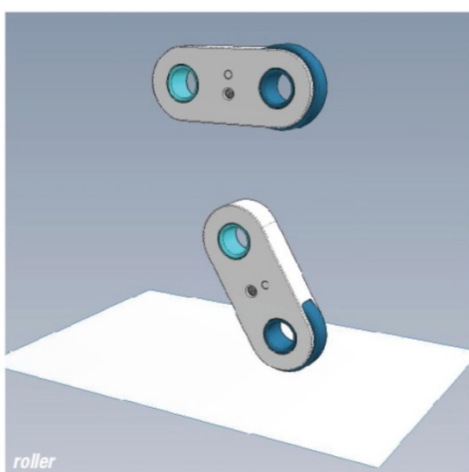


Figure 2-11 Study (3) for working model

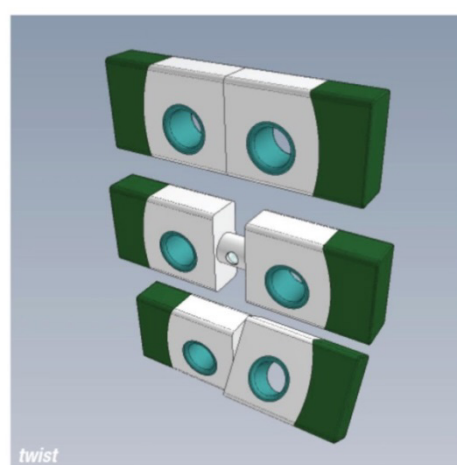


Figure 2-12 Study (4) for working model

結果として、こどもの身体を使った大きな電力を得るには転がして発電する方法が良く **Figure2-11** を採用。子どもが握り易さ、ころがしやすさ、そして、全体のサイズなどを検討した結果、虫めがねのようなカタチをしたデジタルスチルカメラのデザインが生まれた。



Figure 2-13 Final Concept Sketch

更に、この方法で少しでも軽く使いやすい、しかも、効率的に発電するカタチを得るために、各部品レイアウト検討を思行った。当初はできるだけコンパクトに製作することに重きを置き設計検討を重ねた。**Figure 2-14** は 蓄電用のコンデンサとカメラブロックを直列に配置。グリップ部が長くなるが、子どもの小さな手でもしっかりグリップできるようにした。それでも、デジタルカメラ用基板を 2 階建てにしなければならず多少太いグリップになった。グリップ表キャビに植物プラスチックを想定しているが、アルミ化することで厚み 0.8mm、幅 1.6mm 程度減らせることがわかっていた。ただし、空スペースがあることなどから、更なるコンパクト化ができないか検討を進めることにした。

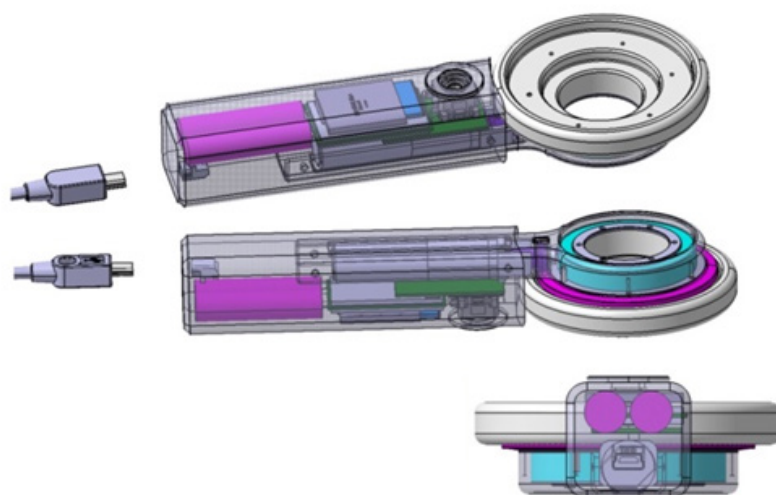


Figure 2-14 Engineering Study (1) of Working Model

設計検討案 2 (**Figure 2-15**)、設計検討案 3(**Figure 2-16**)は、可能な限り各部品どうしの隙間をなくし、どこまでコンパクトに配置できるかについて検討したものである。ただし、グリップ部が設計検討案 1 に対して太くなることも分かった。

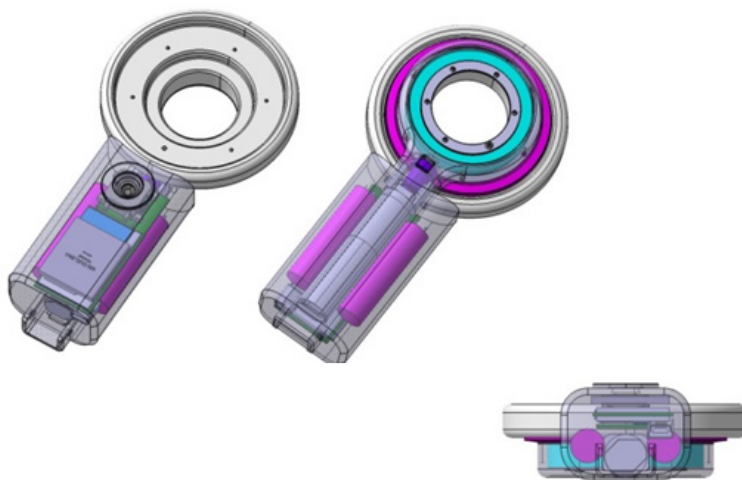


Figure 2-15 Engineering Study (2) of Working Model



Figure 2-16 Engineering Study (3) of Working Model

最終的に、こどもの手にでもしっかりグリップが可能な設計検討案 1 (Figure 2-14)を採用することにした。

また、ドーナツ状の部分が発電用のローラになっており、真ん中の穴の部分がビューファインダーの役目をするわけだが、通常であれば、回転体の中心に軸があり穴を開けることが不可能である。そこでドーナツの外周にギアを設け、ダイナモと直結する方法を採用した。また、軸の代わりにボールベアリングを採用しこどもでも軽く転がすことができるよう設計を施した。

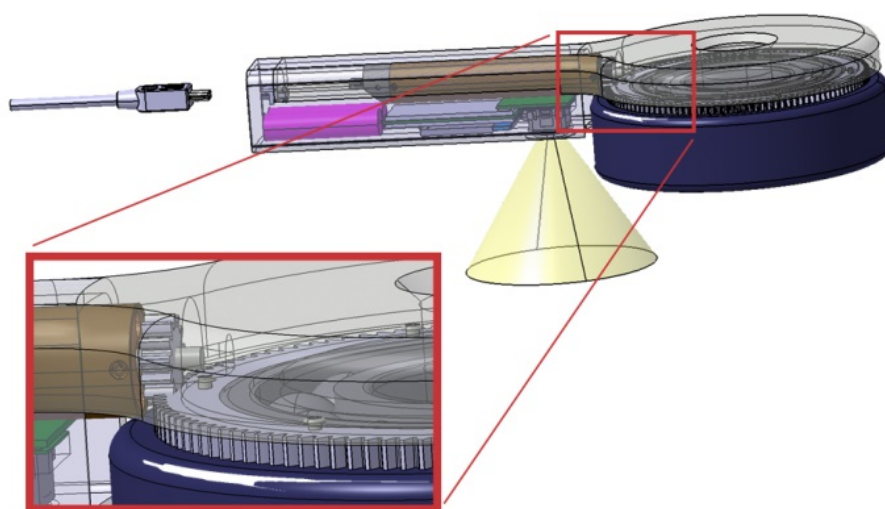


Figure 2-17 Study of the Driving Gear

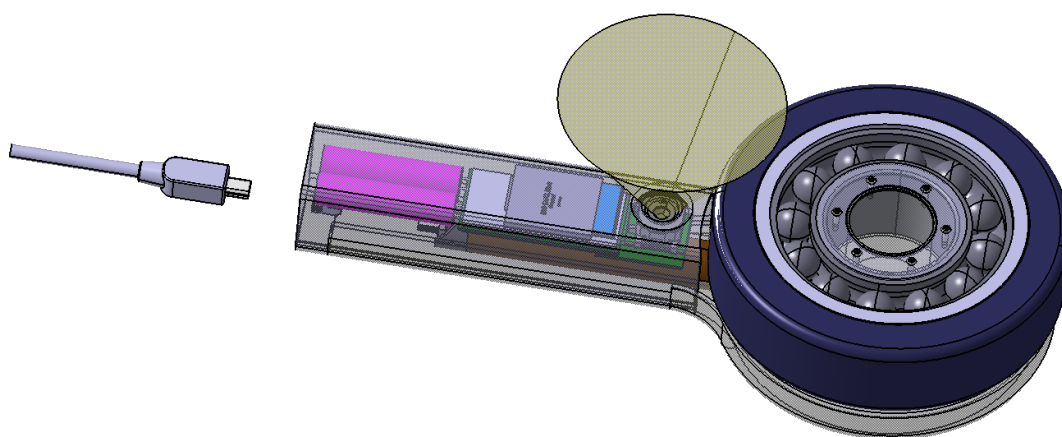


Figure 2-18 Study of the Ball bearing for a low torque

そして、完成したものが、**Figure 2-19**になる。更に、このデジタルカメラには撮影した写真を見るための液晶画面がついていないために、その写真を見るためのフォトビューワーや写真のデータをデジタルカメラからフォトビューワーに移動するためのメモリーカードもあわせて製作した。(Figure 2-20、Figure 2-21)



Figure 2-19 Working Model of the Digital Still Camera

フォトビューワーは器のようなものにいっぱい貯めた思い出をこどもたちが一緒に覗き込むカタチをイメージしてデザインした。



Figure 2-20 Working Model of the Photo Viewer



Figure 2-21 Working Model of all lime-up

Figure 2-22 を用いデジタルカメラの各部名称と機能について説明する。

- ① 発電用ローラ：片手で持って、この部分を転がすことで発電を行う。
 - ② ビューファインダー：虫めがねのように被写体に向けることで画角を決めることができる。
 - ③ レンズ：単焦点レンズ。
 - ④ シャッターボタン：ボタンを押下すると写真を撮影することができる。
 - ⑤ LED for Charge (オレンジ)：約 2～10 秒程度転がすと 4 つの LED が順番に点灯していく。
 - ⑥ LED for Full Charge (グリーン)：フル充電になると LED が点灯する。
 - ⑦ LED for Shooting (オレンジ)：シャッターボタンが押すと LED が点灯し 2 秒後に撮影が完了。
- (こどもがしっかりと持って撮影できるように 2 秒タイマーを機能として入れた)
- ⑧ メモリーカード：撮影した画像データをフォトビューワに移動する

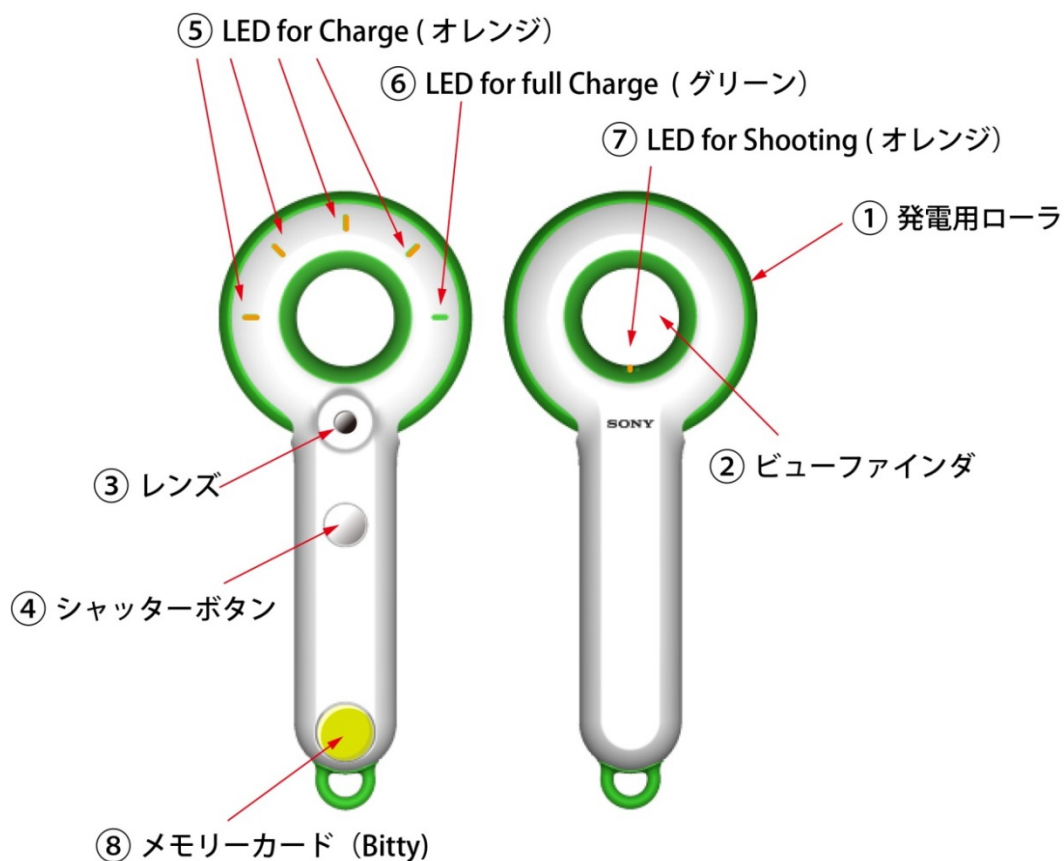


Figure 2-22 Functions of the Digital Still Camera

Figure 2-23 を用いフォトビューワの各部名称と機能について説明する。

- ① 発電用ローラ：両手で持って、この部分を転がすことで発電を行う。
 - ② スクリーン：3 インチ VGA 液晶ディスプレイ（解像度：640 × 480）。
 - ③ 写真送り：ボタンを押すと次の写真を閲覧できる。
 - ④ 写真戻し：ボタンを押すと前の写真を閲覧できる。
 - ⑤ LED for Charge（オレンジ）：約 10～20 秒程度転がすと 4 つの LED が順番に点灯していく。
 - ⑥ LED for Full Charge（グリーン）：フル充電になると LED が点灯。
 - ⑦ メモリーカード：撮影した画像データをデジタルカメラから移動。
- *)10 秒程度閲覧していると画面の輝度が下がり始め、20 秒程度で表示が消えるが、注ぎ足し充電することで無限に再生が可能。**

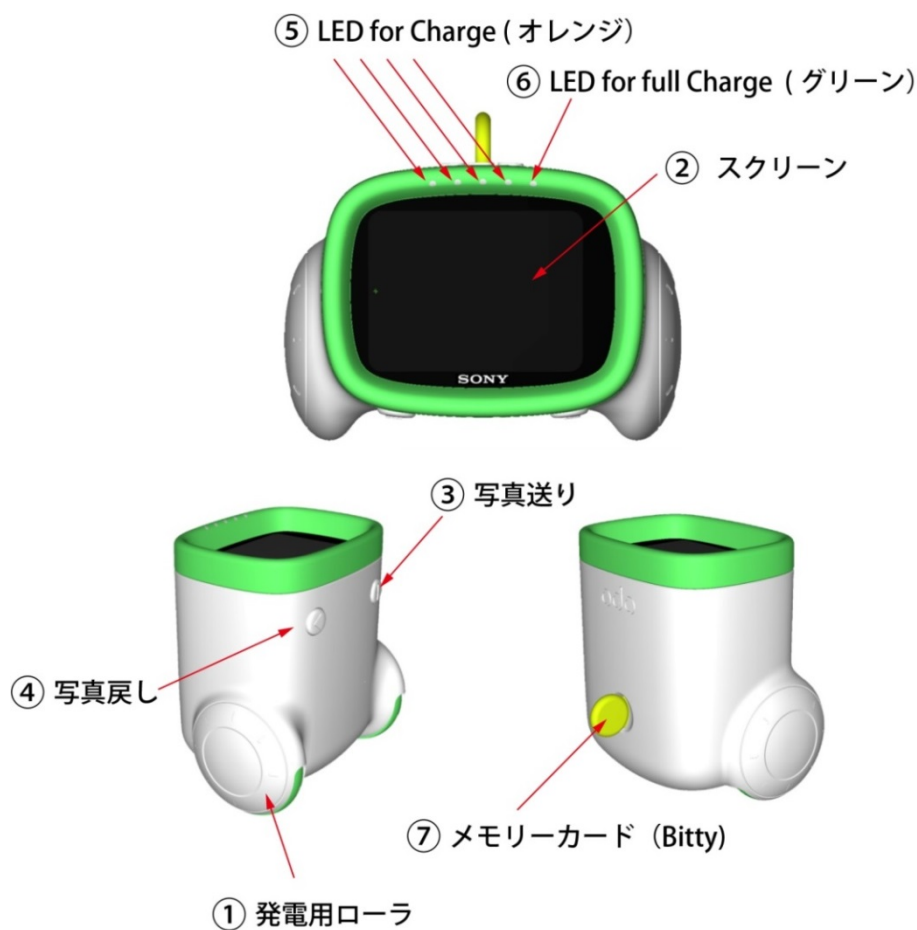


Figure 2-23 Functions of the Photo Viewer

2-4 結果

デジタルスチルカメラやフォトビューワーは多くのメディアでも紹介され、世界中の51のメディアで紹介された。それだけ、世間の関心が高かったことが伺い知れることと、何かしら影響を与えたことは言うまでもない。また、環境教育の現場からワークショップに招待されるなどポジティブな反応を得ることができた。そして、こどもたちが身体を思い切り動かし電気をつくり、楽しんでいる姿から電気をつくる上で、楽しくつくることが重要であることが明らかになった。(Figure 2-24～Figure 2-28)



Figure 2-24 Fun Children by using the Digital Still Camera



Figure 2-25 Photo Sample took by the Digital Still Camera



Figure 2-26 Fun Children by watching photos



Figure 2-27 Eco Pro 2008 - International Exhibition on Environment and Energy –



Figure 2-28 Experience Work Shop on Environment and Energy

そして、エコプロダクツ展、環境ワークショップから以下のようなアンケート結果が得られた。

1. デジタルカメラの実演を見て、電気を自分の力でつくるには時間がかかるし力も要だということを体験し、電気の大切さに改めて気づいた。
2. 子供が本当に楽しそうで製品の良さを際立たせていると思った。
3. 高度な技術が多く盛り込まれているモノになっていた。
4. とても可愛らしく優しい感じのデザインで、世界中の多くの子供たちに是非使ってもらいたい。
5. 個々の想像力を是非高めていってもらいたい。恵まれている日本の子供たちにこそ必要であると感じる。
6. 楽しみながら環境問題や発電のしくみについて学べる発想がとてもいいなと思った。
7. 子供も楽しめるし、大人も楽しめる、様々な人たちが楽しめるものだと思う。
8. この製品はエコや環境問題といったものを身近に感じることができる。

2-5 結論

人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインを達成するために第2章では「人間行動変容を促すための環境配慮商品を“学ぶ”」について検討した。そして、以下の結論が得られた。

1. エゴではなく、楽しみを追加することが人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインとして重要であることが明らかになった。
2. デザイン性、使いやすさが追加されると使ってもらえることもわかった。
3. こどもたちに楽しみながら電気をつくるしくみを体験してもらい、限りある電気を大切に使う行動への変化が明らかになった。
4. 結果的に世界中の電気がない貧しい地域に住むこどもたちにも、写真を撮る楽しみを知ってもらえるモノができた。

第 3 章 サステナブルデザインを活用した DC/AC ハイブリッド制御システム

第3章 サステナブルデザインを活用した DC/AC ハイブリッド制御システム

3-1 序論

人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインを達成するために第3章では「CO₂削減を体感するためにいかに“学ばせる”機会をあたえるか」について検討した。

具体的には **Figure 3-1** にあるように、再生可能エネルギー（太陽光発電）で発電した電気は、一旦、蓄電池に貯め、そのまま直流（DC）機器で使うことが効率を落とさない有効利用となり、CO₂削減に寄与するものと考えており、このようなシステムを生活者に如何に魅力的に理解してもらうかについて検討をした。

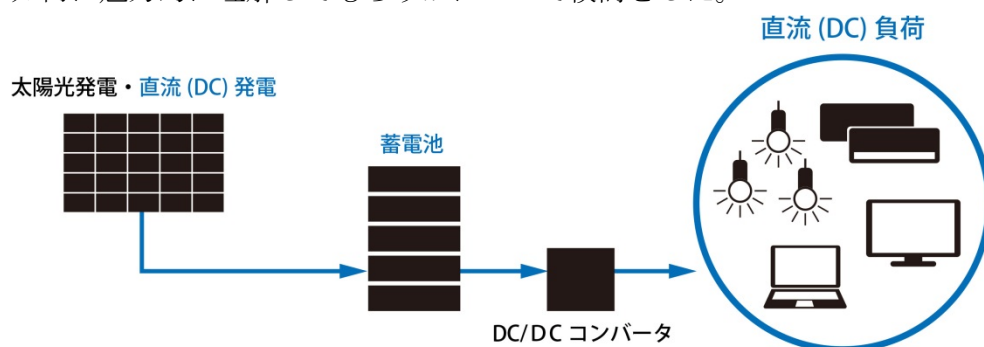


Figure 3-1 the DC Power Supply line and the DC Power load

非効率的な使い方が **約40%** 以上の変換ロスが発生する

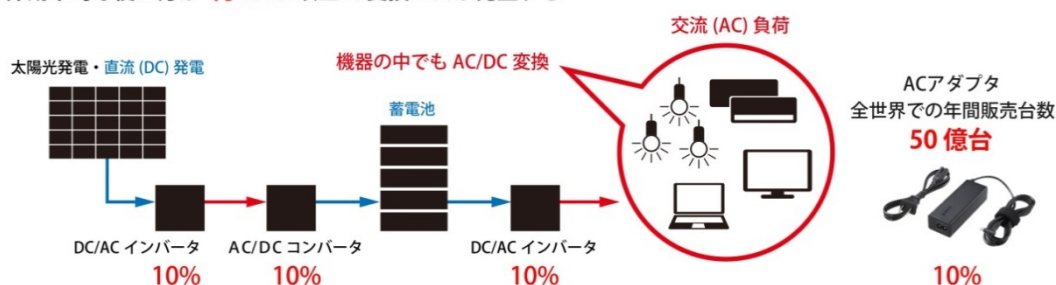


Figure 3-2 the DC Power Supply line and the AC Power load

Figure 3-2 が現在、家庭用などで利用されている太陽光パネルでの電気の流れである。直流で発電された電気を一旦、パワーコンディショナーで交流に変換し蓄電池に蓄電する場合はこれを直流に変換、更に、交流に変換する必要があり非効率的な使い方をしていいる。最近の電化製品のほとんどが直流で動いているので、AC アダプターを必要とする。更に AC アダプターは全世界で年間 **50 億台** が生産されている。これだけでも、大きな資源ロスを生んでいる。

再生可能エネルギー（太陽光発電）により発電した電気を、一旦、蓄電池に貯め、そのまま直流（DC）機器で使うことが効率を落とさない有効利用となるが、実際には、**Figure 3-3** に示すように、蓄電池から直流（DC）負荷側の機器、それぞれの電圧に変圧しなければならず、ここで約 10% のロスが生じるが、**Figure 3-2** は 40% 以上の変換ロスが生じているわけであるから、はるかに効率的な再生可能エネルギー（太陽光発電）の利用につながる。しかも、AC アダプターを必要としないために、その生産にかかる資源の削減にも寄与し、その先の CO₂ 削減に大きな影響をもたらすものと考ええる。

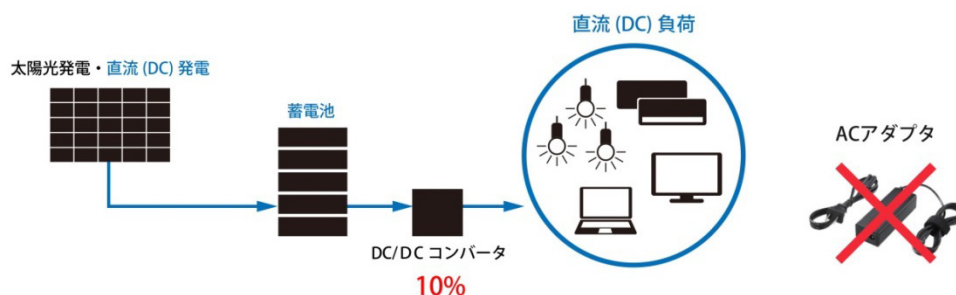


Figure 3-3 the DC Power Supply line and the DC Power load

更に、IT (Information Technology) 技術を組み合わせることで直流と交流電力の最適利用環境や災害時や非常時には必要最低限の負荷環境の実現とさらに蓄電・再生可能エネルギーを併用した可能な限り長期安定的な電力システムを構築した。完全にエネルギーを使い終わった後も、再生可能エネルギーの供給と共に IT が復旧するシステムになっており、他にこのようなシステムの例をみることができない。

本システムは各種センサーの導入と制御ソフトウェアの強化により IT 機能を充実させ、気候変動に伴う創エネ電力と負荷変動の予測のリアルタイム制御を目指し、再生可能エネルギーのさらなる効率的利用を実現するものである。また、我々は大電力を活用するための高圧直流活用技術に関するデバイスの開発とそのシステム化を実現した。さらに、災害時や非常時を想定した電力システムの最適解を導き出し、EV（電気自動車）などのエネルギー移動体と定置型 DC/AC ハイブリッドスマートビルディングのエネルギーマネージングシステムとの融合を視野に入れた連携システムを開発した。

3-2 システム概要

実際には、全ての機器を DC 化することは難しく、*)**DC/AC ハイブリッド制御システム**になったが、目標達成のため “学ばせる” システムの概要である。

本システムの特徴は、一般的なグリッドと違い、再生可能エネルギーは売電せず、太陽光で発電した直流 (DC)電力を一旦、蓄電池に貯め、それを活用しながらすべて自家消費するところである。また、再生可能エネルギーの発電量が不足し蓄電池残量が少なくなるとそれを補うように商用からの電力で蓄電池に電気貯めるようになっている点である。(Figure 3-4)

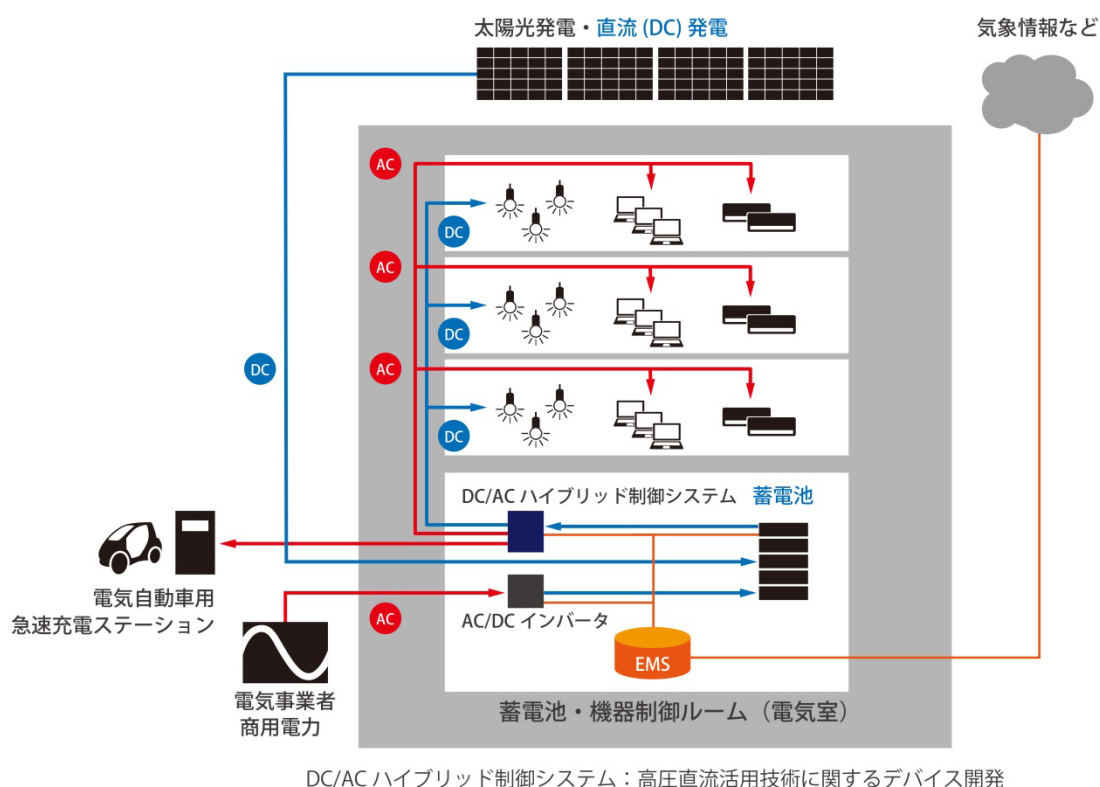


Figure 3-4 DC/AC Hybrid Smart Building System

様々な機能を有した実験的システムあり、運用開始後も機能を満たすだけでなく、システムを広く開放し見学の機会を設けることを想定し、システムを設置している蓄電池・機器制御ルーム（電気室）がショールームとしても機能することが計画され、システムの大部分を占める大型蓄電システムと DC/AC ハイブリッド制御システムとともにそのデザインを行った。

*) DC/AC ハイブリッド制御システム：

太陽光エネルギーで発電した直流電力を大型蓄電システムに蓄電し有効利用ができ、且つ太陽光エネルギーが十分得られない場合、商用電源から出力可能な AC/DC コンバータで直流電力を補うことができる直流高電圧電源システムのことである。

3-3 デザイン・コンセプト

DC/AC ハイブリッド制御システムを導入するにあたり環境科学研究科本館の「見える化（デジタルサイネージ）計画」があり、その一環として大型蓄電システムを設置予定の電気室のデザインも進行していた。既存の建物の中の電気室は非常にスペースが限られており、且つ、消防法や既存の屋内インフラとの関係もあり、大型蓄電システム（①）は、**Figure 3-5**にあるように機能だけを満たすだけの配置となっていた。

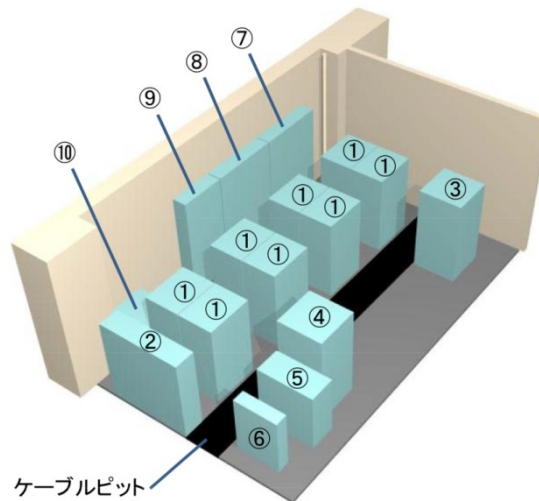


Figure 3-5 the First Idea of DC/AC Hybrid Control System Room

1. 使用環境：東北大学大学院環境科学研究科本館 1F
現況は、休憩・救護室、女子更衣室、印刷室がある。
床面積：約 54 m²、その内、電気室として使用可能な床面積：27.5 m²

2. 設置機材（単位：mm）

- ① 蓄電モジュール（8 台） W:600 D:800 H:(1500)
 - ② 集電箱 W:1400 D:350 H:(1200)
 - ③ DC/AC 変換箱（EV 用） W:750 D:750 H:1600
 - ④ DC/AC 変換箱（コンセント） W:750 D:750 H:1650
 - ⑤ AC/DC インバータ W:445 D:945 H:1075
 - ⑥ 直流出力分岐盤 W:700 D:200 H:1000
 - ⑦ 交流出力分岐盤 / VITAL-AC 分電盤 W:1200 D:250 H:1900
 - ⑧ DC/AC ハイブリッドシステム非常用切換盤 W:1200 D:250 H:1900
 - ⑨ 交流入力用分岐盤 W:800 D:250 H:1900
 - ⑩ UPS 5.2kVA W:700 D:760 H:705
- 総設置面積：7.34 m²

そこで、どのようにデザインすれば、学ばせる電気室になるか検討をする過程で、そのデザイン・コンセプトをまとめた。

デザイン・コンセプトをまとめる前に、その発想の前提について述べたい。植物は光合成により太陽からの光エネルギーを用い、水を分解して酸素を発生し二酸化炭素をでんぷんなどの有機物に固定化させて生きており、この変換効率は僅か1%前後であると言われている。それに対して、太陽光発電の変換効率は平均して約15%と言われており、植物のそれと比較するとはるかに効率が良いが、化石燃料を燃やして発電する火力発電所の発電効率は約40%と言われているから、はるかに少ない変換効率である。まだまだ、人間が太陽から得られた光エネルギーを十分に活かしてきれていないのが現状である。

言い換えれば、ほんのわずかな電気エネルギーを生み出すだすために、沢山の太陽の光エネルギーを必要としている。いっぽう、植物は地中からも根を利用して水や養分を取り出すわけだが、その水は空から降ってくる雨が主なものだろう。もちろん、長きにわたり、地中に貯められた地下水からの水もあるだろう。だが、ここでは、僅かばかりのエネルギーの源（みなもと）という意味で、雨の日に、「生きるための糧」となる雨つぶを集め、茎を通して地中に落とす葉っぱを蓄電池にみたて小さなエネルギーも一箇所に集まることで大きなエネルギーになる。それを体現すべく、これをデザイン・コンセプトの一助とした。(Figure 3-6、Figure3-7)



Figure 3-6 Image(1) for Design Concept (gettyimages より画像引用)



Figure 3-7 Image(2) for Design Concept (gettyimages より画像引用)

デザイン・コンセプト

1. 放射状のレイアウト

太陽光パネルからの電気エネルギーを葉っぱのように放射状にレイアウトした蓄電池にためその電気エネルギーを収束させ、使用目的に合わせた変換を施し館内に給電していく様を表現。

2. プレゼンテーション対応力のあるデザイン

蓄電池本体が映像を映し出すスクリーンの役割も果たし 説明機能の違うアプリケーションがきても対応力があるものとする。

3. 飽きのこないデザイン

長期間にわたり利用されるものであるから、デコラティブに仕上げるより好き嫌いが少ない、そして、飽きがこないシンプルなデザインを採用する。

3-4 デザインアイデア展開

デザイン・コンセプトで言葉では放射状のレイアウトとしながらも設置場所が狭い屋内ということと部屋のカタチが四角形であること。また、設置機材を効率良く配置するためにはその配置において制約がでてくること。また、設置場所の床面にケーブル・ピットと呼ばれる配線用のケーブルが通る U 字のミゾがあり、このケーブル・ピットのメンテナンスにも配慮する必要がある。それらの条件を加味し、以下のようにデザイン・アイデア展開を行った。

アイデア 1: 部屋の四角形を活かすとともに、ケーブルピット上には機材を配置しないアイデアである。機材底面のカタチもすべてが四角形であるため、メンテナンス時に作業スペースなど広くとれることがメリットとなる。一方で、放射状のコンセプトを表現しきれていないためにデザイン的な登場感と言ったものが薄れてしまう。

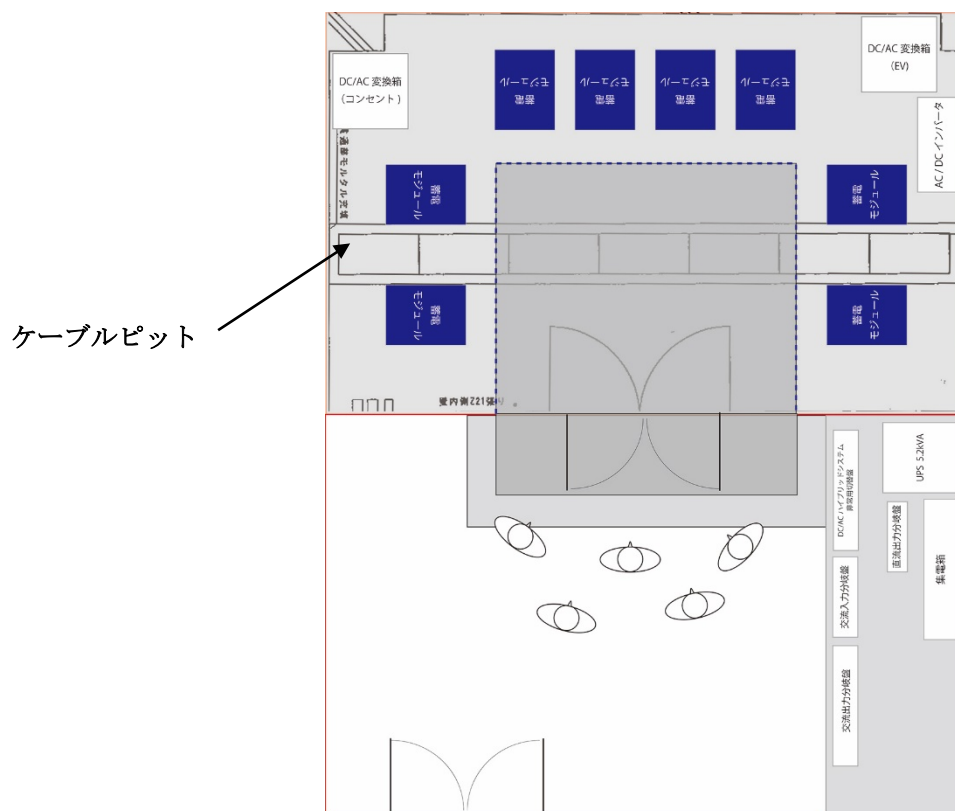


Figure 3-8 Idea (1) for layout of DC/AC Hybrid Control System Room

アイデア 2：デザイン・コンセプトにある放射状を活かしながらケーブルピットのメンテナンス性も確保したアイデア。メリットはデザインコンセプトの放射状を表現できており、デザイン的な登場感が期待できる。ただし、ケーブルピットのメンテナンスに配慮したために、全ての蓄電池ラックを完全な放射状を表現できていない。また、蓄電池ラック裏側のスペースが十分に確保できていないために、全ての設置機材を電気室の外に配置しなければならなくなった。

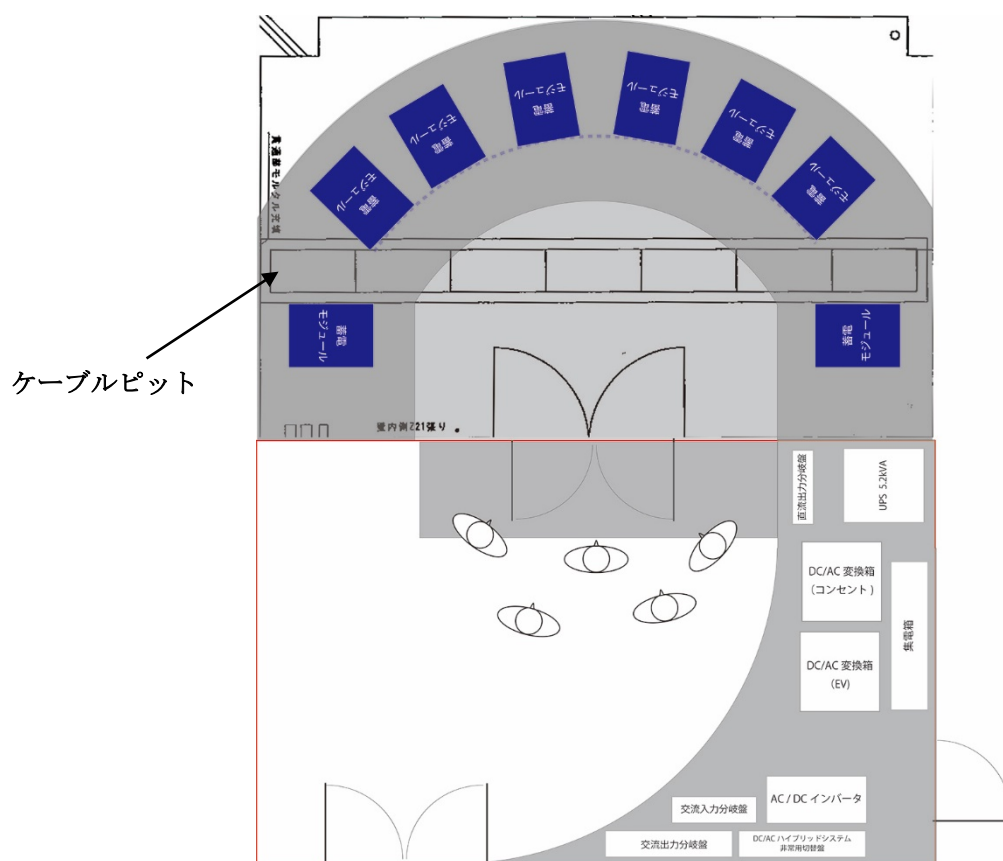


Figure 3-9 Idea (2) for layout of DC/AC Hybrid Control System Room

アイデア 3：ケーブルピットのメンテナンスを配慮すると、放射状のレイアウトを実現する上で、大きな足かせになることが**アイデア 1**、**アイデア 2**を検証することで明らかになった。そこで、まずは、ケーブル・ピットのメンテナンスを考慮せず、蓄電池ラックを放射状にレイアウトしてみたアイデア。メリットは、言うまでもなく、うまく放射状を表現できている。更に、**アイデア 2**に対して、蓄電池ラック後方のスペースも確保できるために、防火区画に配置しなければならない機材の配置を可能とした。デメリットはケーブル・ピットのメンテナンスであるが、メンテナンスの頻度が少ないこともあり、一部、蓄電池ラック、ケーブル・ピットと重なる部分以外はオープンとし、メンテナンス最低限の作業を可能とする。

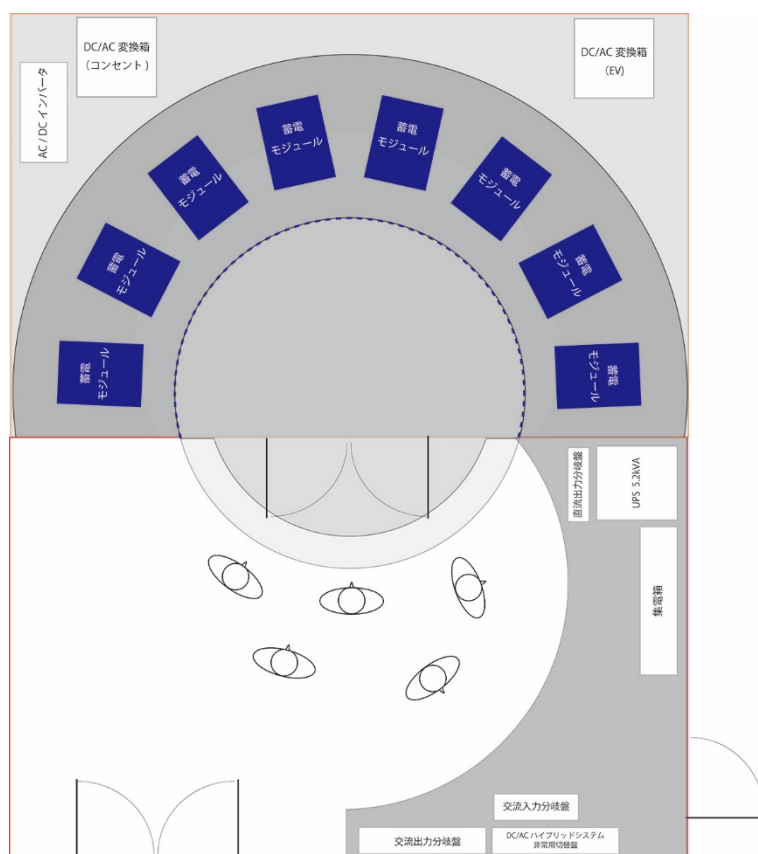


Figure 3-10 Idea (2) for layout of DC/AC Hybrid Control System Room

3-5 ラフモックによる検証

ラフモックは、アイデアを短時間に検証することを可能とし、立体で確認することで平面図による空間の曖昧さを明確にする上で有効な手段となる。

平面図による検証からデザイン・コンセプトを余すことなく表現できているアイデア 3 を立体的に表現することにした。



Figure 3-11 Rough mock(1) for layout of DC/AC Hybrid Control System Room

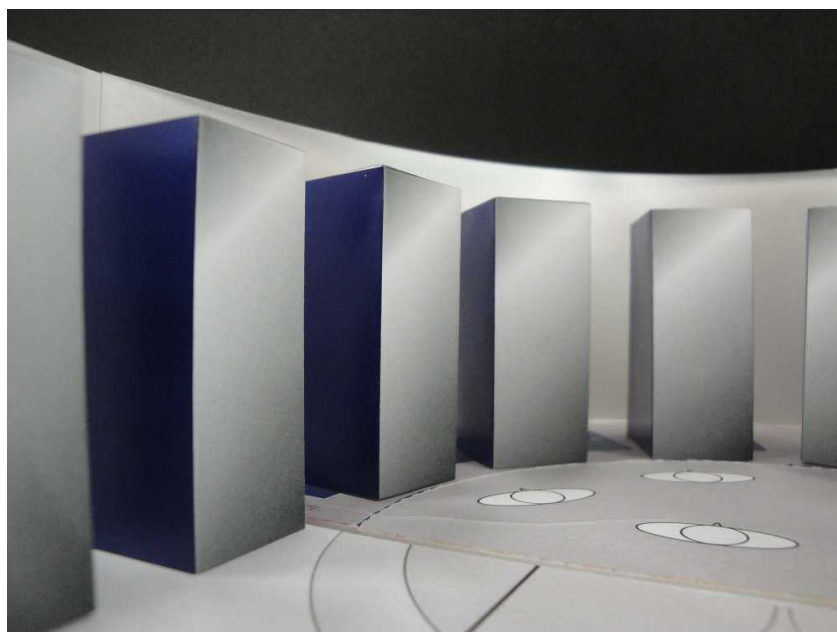


Figure 3-12 Rough mock(1) for layout of DC/AC Hybrid Control System Room

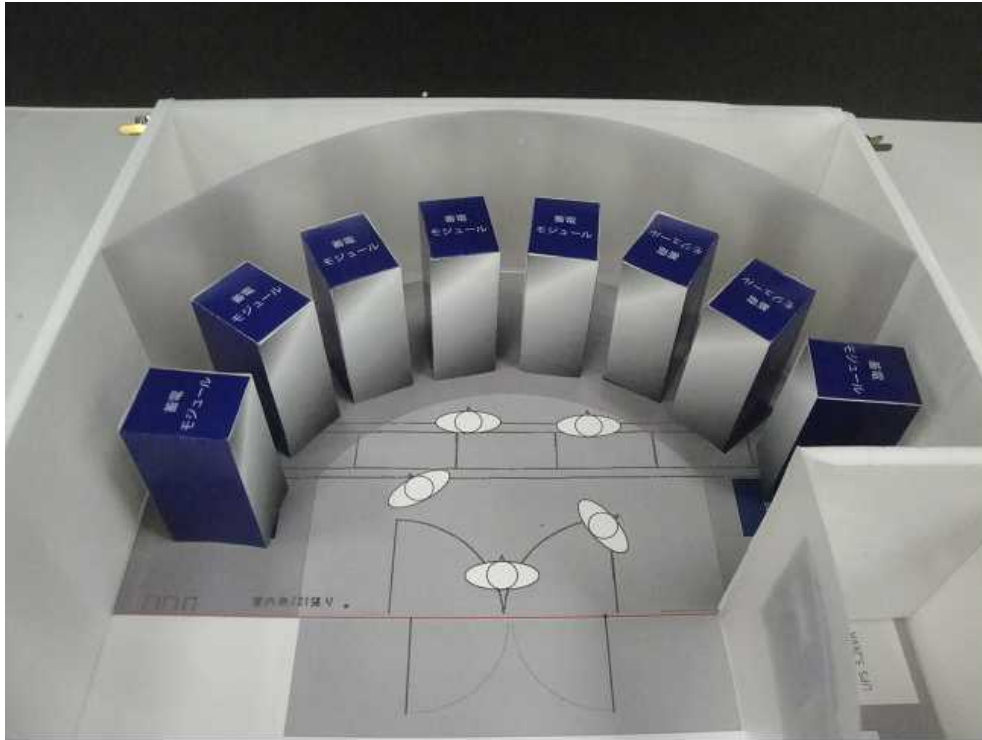


Figure 3-13 Rough mock(1) for layout of DC/AC Hybrid Control System Room

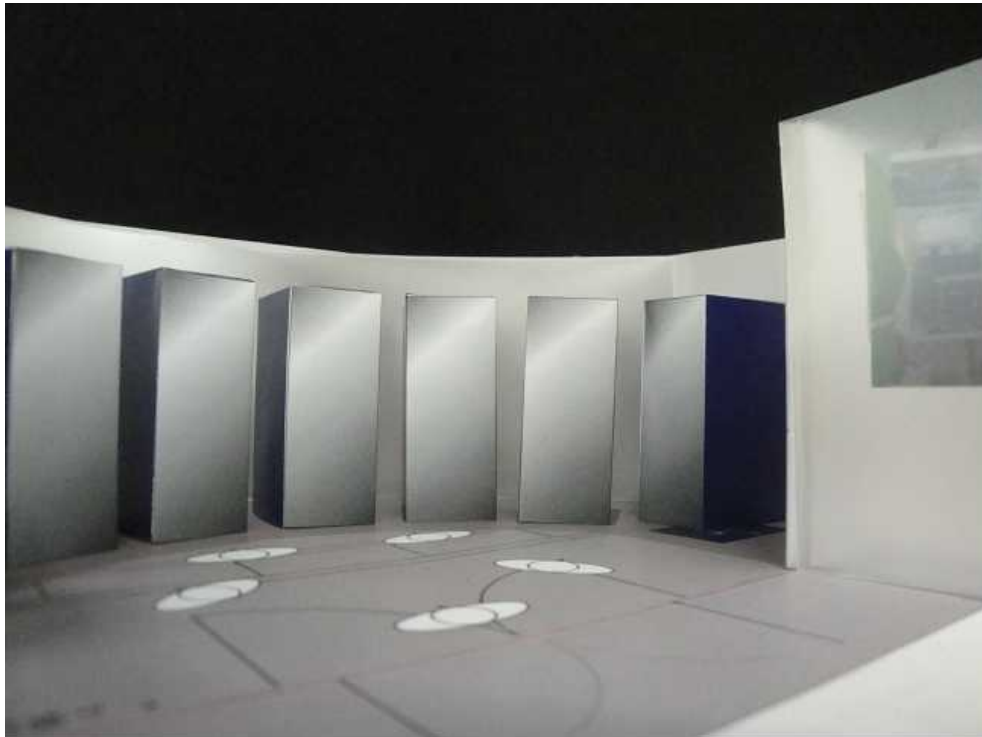


Figure 3-14 Rough mock(1) for layout of DC/AC Hybrid Control System Room

3-6 実施デザイン・実施建築設計

3-6-1 DC/AC ハイブリッド制御システム

実施デザイン・実施建築設計を行う上で、最も遵守しなければならない項目として建築基準に基づく法的規制である。特に、低定格出力：48kw を持つ今回のシステムは、電気事業法で定める「変電設備（20kw 以上）」にあたるため、仙台市火災予防条例第 13 条 6 号に準拠している必要がある。

仙台市火災予防条例第 13 条 6 号は「変電設備のある室内には、係員以外のものをみだりに出入りさせないこと」と定めてあり、具体的には、電気室側（特定防火区画）と見学者側を火災が起きた時に自動防火シャッターなどを設置して区切ることとし、見学者が電気室に不用意に入れないよう強化ガラスによる手すりを設けた。（Figure3-15）

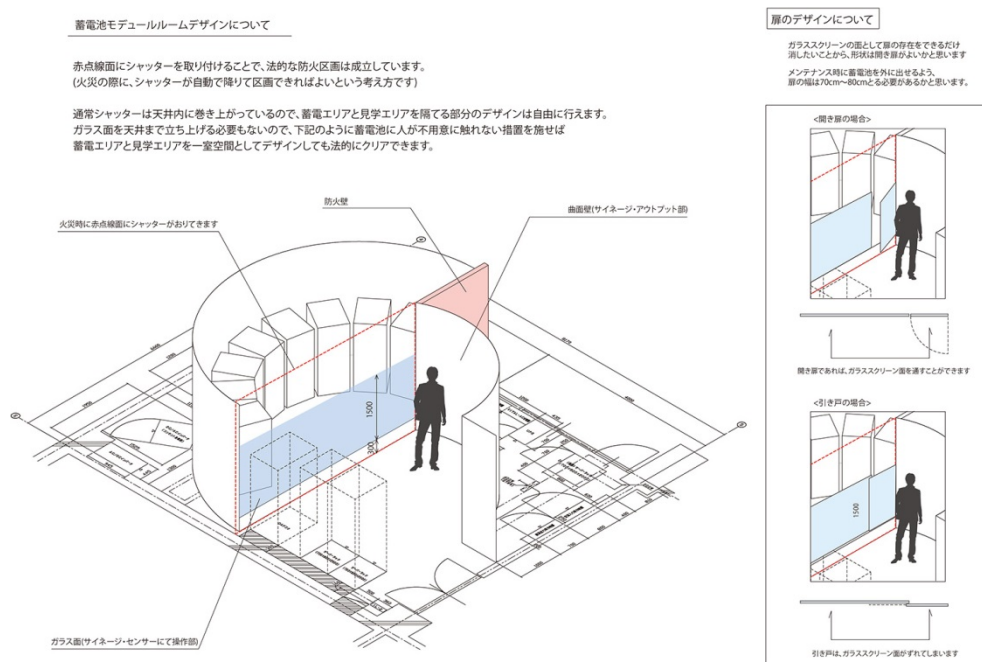
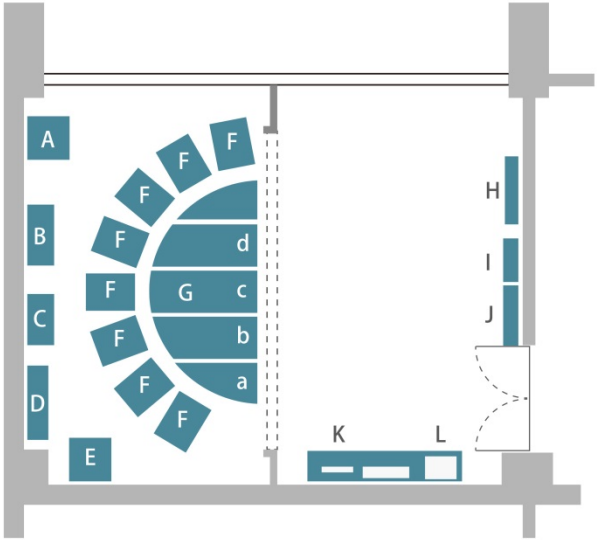


Figure 3-15 Working Drawing of DC/AC Hybrid Control System Room

多くの電気設備を設置するにはそれほど広くない蓄電池・機器制御ルーム（電気室）はそれらを設置するにあたりその効率的なレイアウトが必要とされていた。DC/AC ハイブリッド制御システム非常用切換盤（W:1200 D:250 H:1900mm）はその他の設備に比べ大型のため、本来なら利用できなかったスペースを有効に使うことができれば、その他の設備のために広いスペースを確保することが可能となる。当初、見学者が蓄電池の間近まで入れるように計画していたが、先の仙台市の火災予防条例により見学者が電気室に入ることができなくなったために大型蓄電池システム前の半円形のスペースの利用が可能となり、そこに、DC/AC ハイブリッドスマートビルディングの中核をなす

DC/AC ハイブリッド制御システム非常用切換盤(図中 G)を設置することとし、DC/AC ハイブリッド制御システムのコンセプトを見学者にわかりやすく伝えることを可能とした。(Figure 3-16)

蓄電池・機器制御ルーム設備機器



蓄電池ラック内構成



A	DC/AC インバータ (24kW)
1 次 DC300V、2 次三相 200V、単相 200V	
B	AC/DC コンバータ (40kW)
(システム非常時用)	
1 次単相 200V、2 次 DC300V	
C	UPS (4.5KW)
1 次単相 200V、2 次単相 200V-100V	

D	集電箱
E	DC/AC インバータ (24kW)
(コンセント用)	
1 次 DC 300V、2 次三相 200V、単相 200V	
F	蓄電池
蓄電容量：57.6kWh (7.2kWh x 8)	
定格入力：PV48kW AC48kW	
定格出力：48kW 定格電圧：3007.2V	

G	DC/AC ハイブリッド
制御システム非常用切換盤	
H	直流出力用分岐盤
I	交流入力用分岐盤
J	交流出力用分岐盤
K	19 インチモニタ
L	EMS サーバ

Figure 3-16 Layout of Electrical equipment and Battery rack

スマートビル DCAC ハイブリッド制御システムパンフレット（参考文献 9.）より

3-6-2 EMS のよる最適制御と見える化

蓄電池・機器制御ルーム（電気室）に設置された 8 台の大型蓄電池ラックは、デザインコンセプトを体現するよう放射状にレイアウトした。これは、太陽光パネルからの貴重な電気エネルギーを雨つぶにみたて、それを集める葉っぱにみたてたからである。そして、それぞれの蓄電池に貯めた電気エネルギーを収束させ、使用目的に合わせた変換を施し館内に給電していく様を表現したかったからである。また、ラックの塗装色を白くすることで、映像を映し出すスクリーンにみたて、「電気の見せる化」のための情報やそれらをコントロールするためのグラフィックユーザーインターフェースを表示させることを可能とした。本システムは東北大学大学院環境科学研究科において、クラウドコンピューティング技術を中心としたエネルギーマネジメントシステム（EMS）による太陽光発電及びリチウムイオン蓄電池の発電・充放電の最適制御をはじめ、発電量、蓄電量、電力消費量などの見える化並びに照明機器や OA 機器の自動制御、EV 及び EV チャージャーの制御を可能するシステムである。

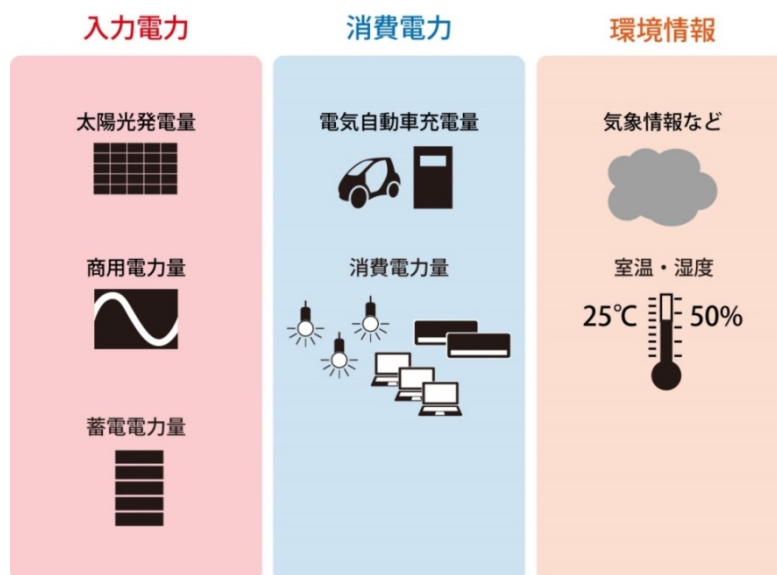


Figure 3-17 Input Parameter from DC/AC Hybrid Control System

更に、機能を充実させ、天候・温度・湿度などのセンサーによる情報で、発電量・負荷変動の予測とリアルタイム制御による再生可能エネルギーのさらなる効率的利用を可能としている。Figure 3-17にある各センサーから得られる情報（入力電力、消費電力、環境情報）を活用することにより、最適化されたアルゴリズムによる太陽光発電及びリチウムイオン蓄電池の発電・充放電の最適制御をはじめ、発電量、蓄電量、電力消費量などの見える化ならびに省エネへのアドバイス、省エネコンペ、気象データを用いた消費電力予測などの省エネ行動促進のためのアプリケーション、開発、および、電力照明・OA 機器の自動制御（ON/OFF）など ICT（情報通信技術）を用い実現している。

3-6-3 プロジェクションマッピングによる電気の見せる化の提案

このように、省エネ行動に結びつく多くの情報を電気利用者にわかりやすく“学ばせる”ことが可能なシステムである。そして、これらの情報により大型蓄電池システムを「電気の見せる化」のための大型スクリーンにみたくて、定量化された数値データだけでなく、自然をモチーフにした発電量の定性的な表現が見学者の心を動かし、その後の「省エネ」行動につながるかを“学ばせる”ようプロジェクションマッピングを利用した表現を提案した。蓄電池ラックを映像投影のスクリーンにみたくてプロジェクションマッピングによる「電気の見せる化」を実現したシステムは世界的にも例を見ない。



Figure 3-18 Idea (1) of Projection Mapping on the Battery rack (Niji-iro)
(gettyimages より画像引用)

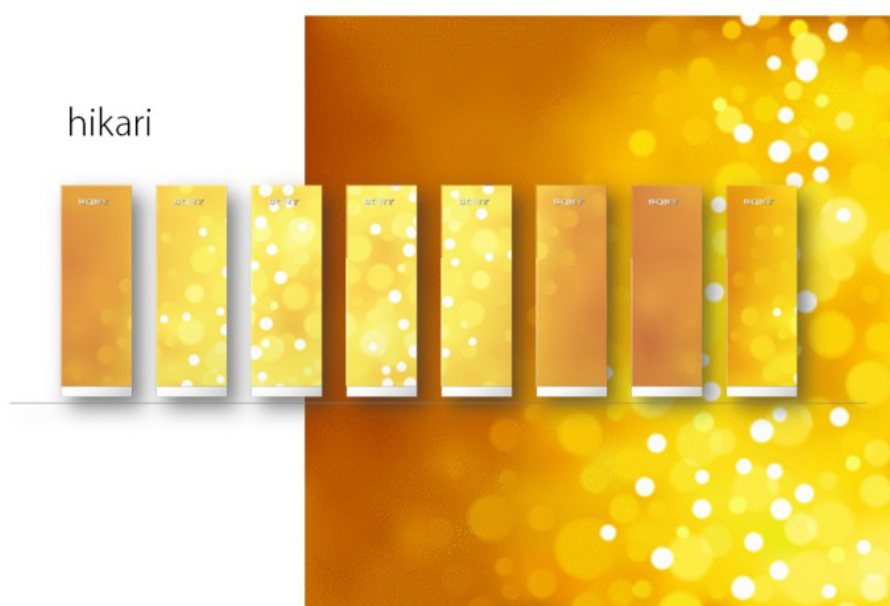


Figure 3-19 Idea (2) of Projection Mapping on the Battery rack (hikari)
(gettyimages より画像引用)



Figure 3-20 Idea (3) of Projection Mapping on the Battery rack (mizu)
 (gettyimages より画像引用)



Figure 3-21 Idea (4) of Projection Mapping on the Battery rack (momiji)
 (gettyimages より画像引用)

3-7 DC/AC ハイブリッド制御スマートビルディング

3-7-1 DC/AC ハイブリッド制御システム

東北大学大学院環境科学研究科の講義等に設置した DC/AC ハイブリッド制御システムの事例を紹介する。



Figure 3-22 Building of Graduate School of Environmental Studies Tohoku University and ECO LAB



Figure 3-23 Building of Graduate School of Environmental Studies Tohoku University



Figure 3-24 Silicon Solar Cell Panel
(60kw / 250kw × 240)



Figure 3-25 DC/AC Hybrid Control System



Figure 3-26 Large Size Battery Rack and DC/AC Hybrid Control System(1)
DOE GLOBAL ENERGY STORAGE DATA BASE
Office of Electricity Delivery & Energy Reliability (参考文献 10.)



Figure 3-27 Large Size Battery Rack and DC/AC Hybrid Control System(2)

3-7-1 プロジェクションマッピングによる電気の見せる化の実現

蓄電池ラックを映像投影のスクリーンとして使用し、プロジェクションマッピングや音響・照明設備等の機器と双方向で連携・統合化することで、見学者に電気の情報を経々な表現で発信するシステムに設えた。

また、蓄電池・機器制御ルームに設置されたコントロールパネルから、天候・発電・消費・蓄電のリアルタイム情報の他、本システムの概要をナレーションと共に紹介するコンテンツなどを選択して投影が可能となる。各コンテンツではリアルタイムの状況に応じた情報が表示され、各種天候に応じたグラフィックが準備されている他、エネルギーの状態によっても視覚的な変化をとまなう魅力的なデザインに設えた。

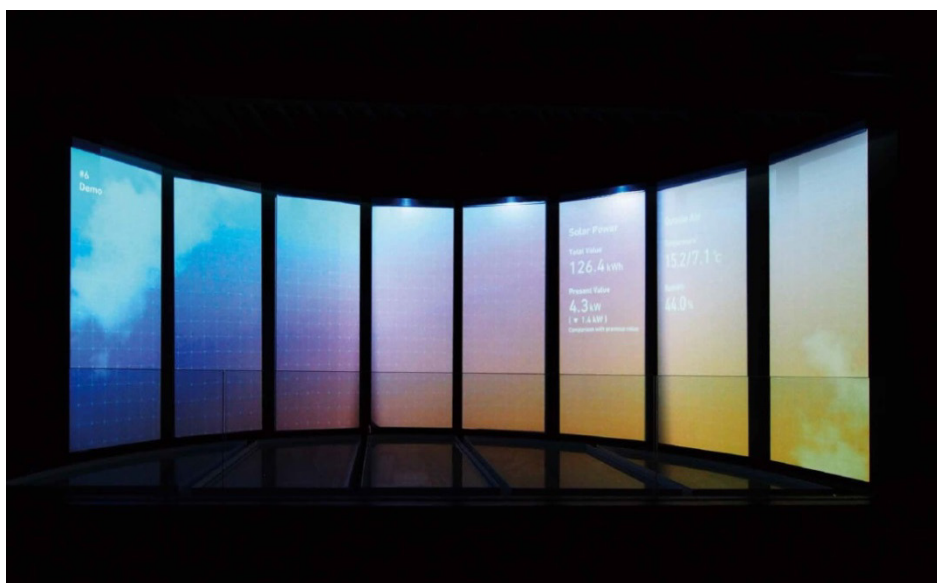


Figure 3-28 Information of Electricity Storage Amount by using the Projection Mapping



Figure 3-29 Attractive Interaction System by using the Motion Sensor and the Projection Mapping

蓄電量を水量に見立てて表示し、蓄電量に応じて水面が上下します。蓄電量が減るに従い、画面の色が青→白→黄の順に変化することで警告を行う。(Figure 3-30、中央上、右)

また、建物の各階ごとに消費エネルギー量を比較して各蓄電池ラックに表示する。1 日の中での消費総量が増えるに従い、警告を行うために白→黄→赤の順で色が変わること各階の電気利用者への節電を促す。



Figure 3-30 Variation of Information of Electricity Storage Amount by using the Projection Mapping

Figure-3-28～Figure 3-30 スマートビル DCAC ハイブリッド制御システムパンフレット（参考文献 9.）より

3-8 結果

地球環境が抱えている温暖化の課題に対して、再生可能エネルギー（太陽光発電）で発電した電気は、一旦、蓄電池に貯め、そのまま直流（DC）機器で使うことが効率を落とさない有効利用となり、CO₂削減に寄与するものと考えており、このようなシステムを生活者に如何に魅力的に理解してもらうかについて検討をした。

その結果、来場者の印象、運営側からの評価のコメントは以下のようになった。

1. 実際に見学してみて視覚的にインパクトがあるので「未来的」という印象を受けた。
2. 蓄電池が大画面スクリーンとなり、目には見えにくいエネルギーを体感することができる仕掛けとして面白かった。
3. 「給電システムが変わった」ということを意識せずに使えるところが使いやすい点だと思う。

4. 古い建物の中に最先端な蓄電池ルームがあり直流 300V で給電されている事がインパクトを与えているように思う。
5. 見学者が自分でも（自社でも）、DC/AC ハイブリッド制御システムを展開していくイメージが湧きやすくするような工夫もあったら良いと思う。

3-9 結論

人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインを達成するために第 3 章では「CO₂削減を体感するためにいかに“学ばせる”機会をあたえるか」について検討した。CO₂削減を体感するためにまずは、本システムを見学してみたいと思わせる、行動を起こさせることが重要である。そして、それを見学し、システムに触れることで、本システムが目指している世界を理解し、“学ばせる”ことを目的とし検討した。結論である。

1. 行動を起こさせる

- ・ 1000 人を超える見学者が来場した。これは、一般的なシステムが蓄電システムや制御システムなどはバックヤードに配置されており、システムの概要を知るにはシステム図を見せられるだけでシステム本体を見学できないことに反し、このシステムはシステム全体をすぐ近くで見学できることと「電気の見せる化」を積極的に行い、デザイン性にも配慮したシステムに設えた結果である。これにより、デザインの的にも魅力的なシステムに設えられれば、それに惹かれて見学に訪れることが明確になった。

2. 触れてもらうこと・見学により

- ・ DC/AC ハイブリッド制御システムや蓄電池のシステムについて”学ばせる”ことができた。

3. 理解させる・学ばせる

- ・ 来場者は再生可能エネルギー（太陽光発電）により発電した電気は直流をそのままに利用することが効率的であることが明らかになった。
- ・ しかし、このシステムでは見学後に見学者の行動に変化があったかの検証ができず、それを検証するためにも、人間の行動を把握する仕組み作り（システム）が必要となることが明確になった。
- ・ また、家庭用定置型のリチウムイオン電池は価格が高いため電気自動車の蓄電池を定置型の蓄電池の代わりに利用することが有効な活用法であることも明確になった。

第4章 人間行動変容を促す新しいサステナブルデザイン

第4章 人間行動変容を促す新しいサステナブルデザイン

4-1 序論

人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインを達成するために第4章では「どういう仕組みを持てば良いかを“学ぶ”ことが必要である」について検討した。

検討するにあたり東北大学青葉山新キャンパス大学院環境科学研究科新棟へ適応した場合を想定し CO₂削減目標を設定することにした。年間トータルで **40%** 削減を達成することし、その内訳は下のようになる。

1. 人間行動変容システムの導入：756.7 トン/年

ガソリンエンジン車から電気自動車、電動パワーアシスト付自転車、地下鉄などの公共交通機関利用への誘導がポイントとなります。

2. 再生可能エネルギーの導入：110 トン/年

3. 省エネシステムの導入：130 トン/年

第3章では、CO₂削減のために DC/AC ハイブリッド制御システムが有効であることを明らかにした。ただし、DC/AC ハイブリッド制御システムだけでは、更なる CO₂削減の達成には限界がきており、そのためには電気利用者の省エネ行動に期待する部分が大い。それを確認するために、行動変容を促すための電気利用者の行動を把握する仕組み作り（システム）が重要であることも“学んだ”。ただし、多くの電気利用者は CO₂削減のために自らこれまでの行動を省エネ行動に変化させるだけのモチベーションを持ち合せていないものである。そこで、省エネ行動を促進する上で、CO₂削減に寄与した場合はインセンティブを与えるなど、システム側でインセンティブを与える仕組みが必要がある。そのためには、電気利用者の行動を適時に知ること、そして、その結果を分析し、CO₂削減のための的確な情報を知らせることが重要だと考える。そこで、電気利用者の行動の履歴を収集するために非接触 IC カード「FeliCa(フェリカ)」による認証システムを導入を検討した。これにより電力の利用状況を電気利用者と結びつけて瞬時に消費電力測定可能とするシステムの提案を行う。そして、非接触 IC カード「FeliCa(フェリカ)」を用い、このような大規模なシステムの提案は世界的にも例をみない。

*) 非接触 IC カード「FeliCa(フェリカ)」 <http://www.sony.co.jp/Products/felica/>

4-2 行動分析のためのフェリカ統合行動履歴（ログ）収集システム

本システムを構築するにあたり、我々は、「FeliCa（フェリカ）」をシステム全体のコアに位置づけ、そこから得られるあらゆるデータを活用することで、電気利用者（東北大学青葉山新キャンパス、大学院環境科学研究科の教職員、学生）、ひとりひとりの行動を詳細に把握し、その消費電力予測を行い、そのデータをもとに、電気利用者の省エネ行動に変化（以下、行動変容）を促すものである。更に、青葉山新キャンパスを訪れた市民も参加可能となるシステムを計画した。

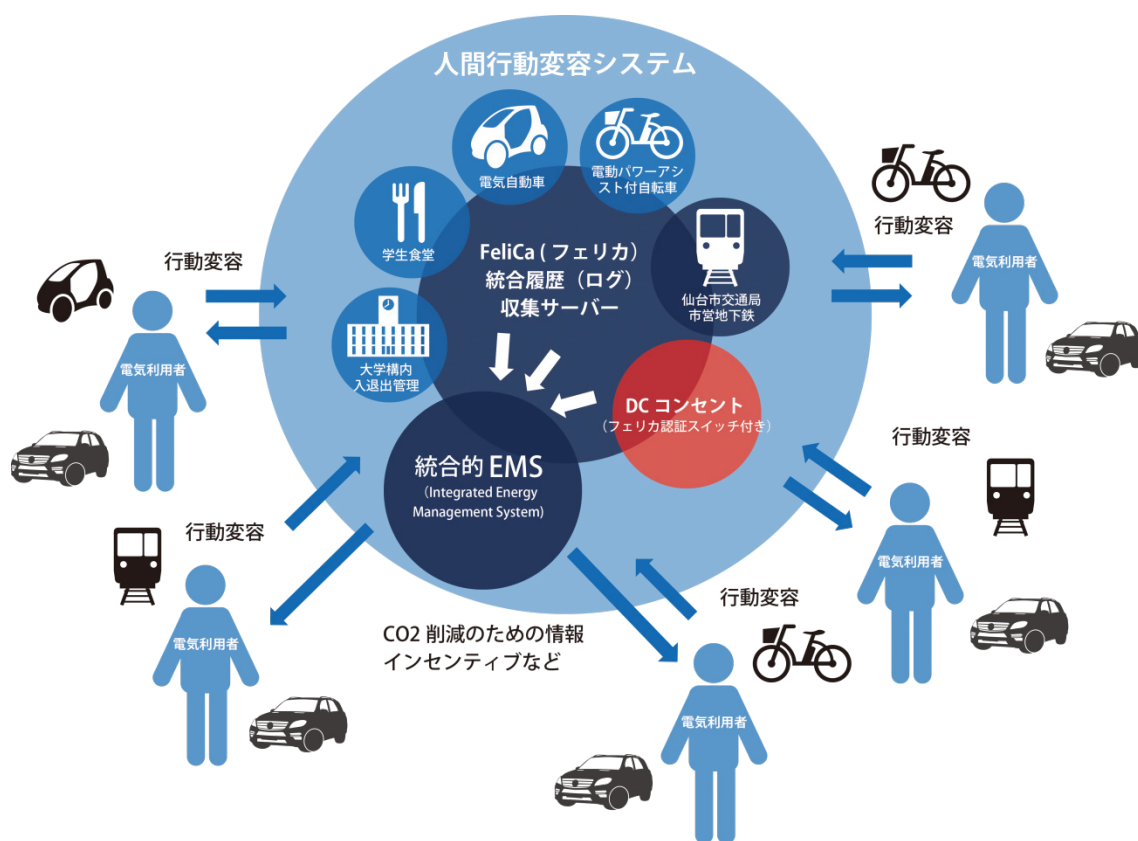


Figure 4-1 Human Behavior Change System by FeliCa System

「FeliCa（フェリカ）」は JR 各社、首都圏の私鉄各社など広く電子切符として利用されており、また、仙台市でも NTT ドコモが展開している電動パワーアシスト自転車レンタルサービス（Date Bike）や電気自動車（EV）の充電ステーション、仙台交通局市営地下鉄の電子切符として採用している。また、東北大学生協生活協同組合でも採用しており、広く電気利用者の行動を把握することが可能であると考えられる。（Figure4-2）



Figure 4-2 FeliCa Card Network

ただし、これらのカード間で情報の交換が可能になっていることが条件となる。これについては、仙台市交通局の「ICSCA（イクスカ）」は既に JR 東日本の「Suica（スイカ）」、首都圏・私鉄各社の「PASMO（パスモ）」と共通化されており、残りの大学内のモビリティ、および、大学生協カード、学生証、それぞれのカードがそれぞれと連携し、データの一元化が可能となれば、電気利用者のほとんどの行動履歴（ログ）を取得でき、その行動分析が可能となる。

利用者によっては、複数のカードを持つことに抵抗があり、導入の妨げになる可能性もあるが、*) FeliCa Pocket Gate システムを採用することで、これらのカードを一枚に集約することも可能である。（Figure4-3）

*) FeliCa Pocket （参考文献：11.）

<http://www.sony.co.jp/Products/felica/felicapocket/>



Figure 4-3 FeliCa Pocket System

本システムの概念図を **Figure 4-4** に示すが、1 つのサーバーと 7 つセンサーカテゴリで構成されている。

1. Felica サーバー
 - ・行動履歴（ログ）収集機能
 - ・各センサーカテゴリ管理機能
2. 認証コンセントカテゴリ
 - ・交流（AC）型認証コンセント
 - ・直流（DC）型認証コンセント
3. 入退出カテゴリ
4. 空調・照明カテゴリ
 - ・直流（DC）対応空調
 - ・直流（DC）対応 LED 照明
6. 文教設備カテゴリ
 - ・プロジェクタ
 - ・AV（視聴覚）文教設備

7. セキュリティカテゴリ

- ・自動ドア
- ・手動ドア
- ・セキュリティゲート
- ・エレベータ

8. スタンプカテゴリ

- ・スタンドアロン端末

9. 移動体カテゴリ

- ・電気自動車、電動パワーアシスト自転車の充電ステーション

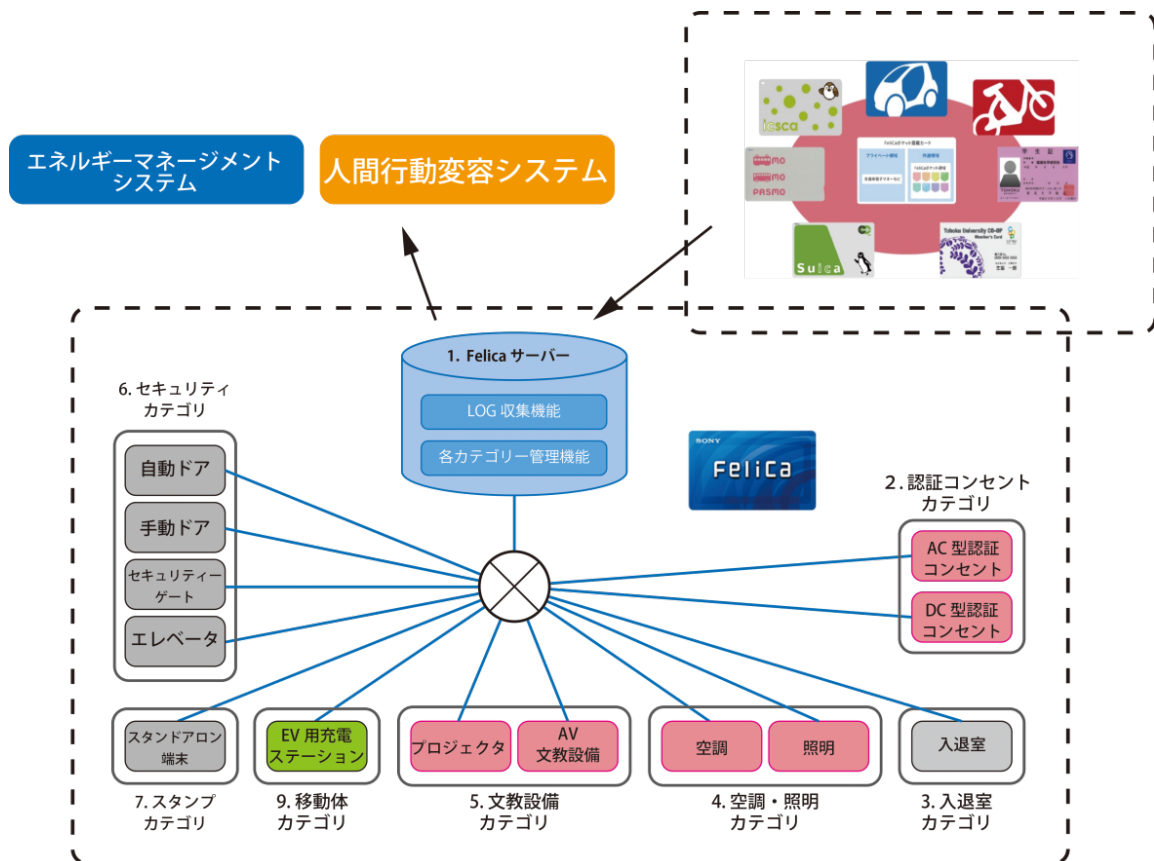


Figure 4-4 Integrated System of LOG Collection by FeliCa System

電気利用者の行動履歴（ログ）を収集するための「FeliCa（フェリカ）」リーダは講義室、研究室、会議室、また、エレベータなどの共有施設に設置。更に、各事務机、会議室の会議用テーブルなどに電気利用者分の AC/DC 型認証コンセントを設置する。これは「FeliCa（フェリカ）」カードをコンセントにかざし認証されると電気の利用が可能となるコンセントであり電気利用の ON/OFF スイッチとなる。(Figure 4-5、Figure 4-6)

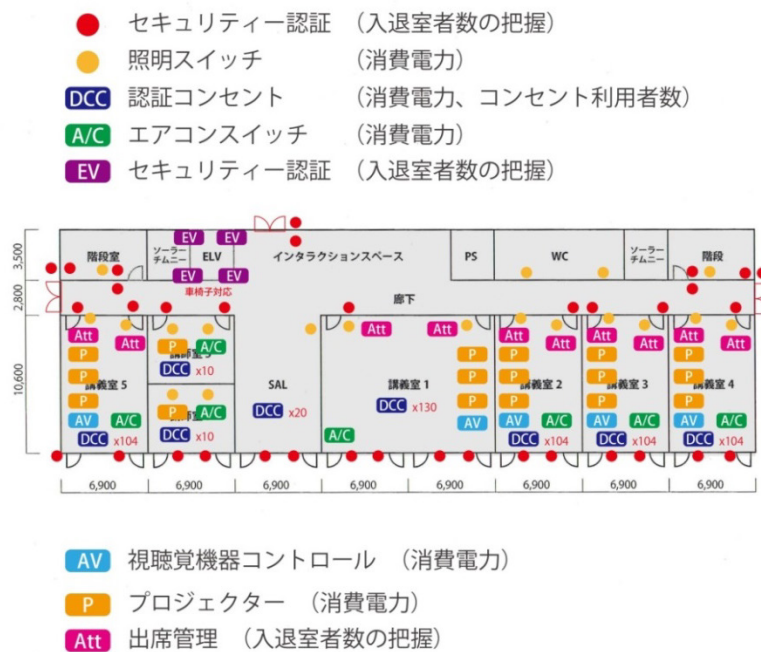


Figure 4-5 Layout of Censer for LOG Collection



Figure 4-6 Authenticated Smart Outlet of DC Power

そして、以下のような行動履歴（ログ）データが取得可能となる。

1. 各電気利用者がいつ、どこで、どれだけ、電気を利用したか？
2. 講義室、会議室、その他（居室、倉庫、休憩スペース）の利用者数
3. 講義室、会議室、その他（居室、倉庫、休憩スペース）の電気使用量
4. 個別機器の電気使用量
5. 電気自動車、電動パワーアシスト自転車）の利用状況、電池残量、利用者、利用数、現在地

以下は DC 型認証コンセントを設置したイメージ図になる。

防塵用カバーをスライドすると、なかに、USB(5V)、及び、10V～24V のノート PC 用のコンセントが現れ、各ノート PC に適した電圧で電気を供給することが可能である。これにより、電気利用者は AC アダプターを持ち歩く必要がなく電気利用者の利便性を図った。（Figure 4-7～Figure 4-9）



Figure 4-7 Authenticated Smart Outlet of DC Power supply



Figure 4-8 Authenticated Smart Outlet of DC Power supply on the table(1)



Figure 4-9 Authenticated Smart Outlet of DC Power supply on the table(2)

DC 型認証コンセントは埃（ほこり）や塵（ちり）などによる故障の原因を未然に防ぐよう未使用時はコンセント部にカバーができるよう配慮したデザインとした。コンセント利用者はあらかじめ個人情報などを登録した FeliCa（フェリカ）カードを「かざすマーク」の部分に持っていく。認証が完了すると「認証完了 LED」が 2 回点滅し「電源 LED」がグリーンに点灯し通電が開始する。（Figure 4-10、Figure 4-11）

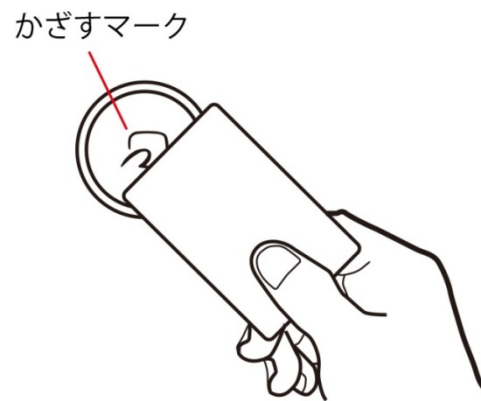


Figure 4-10 Manual of Authenticated Smart Outlet of DC Power supply(1)

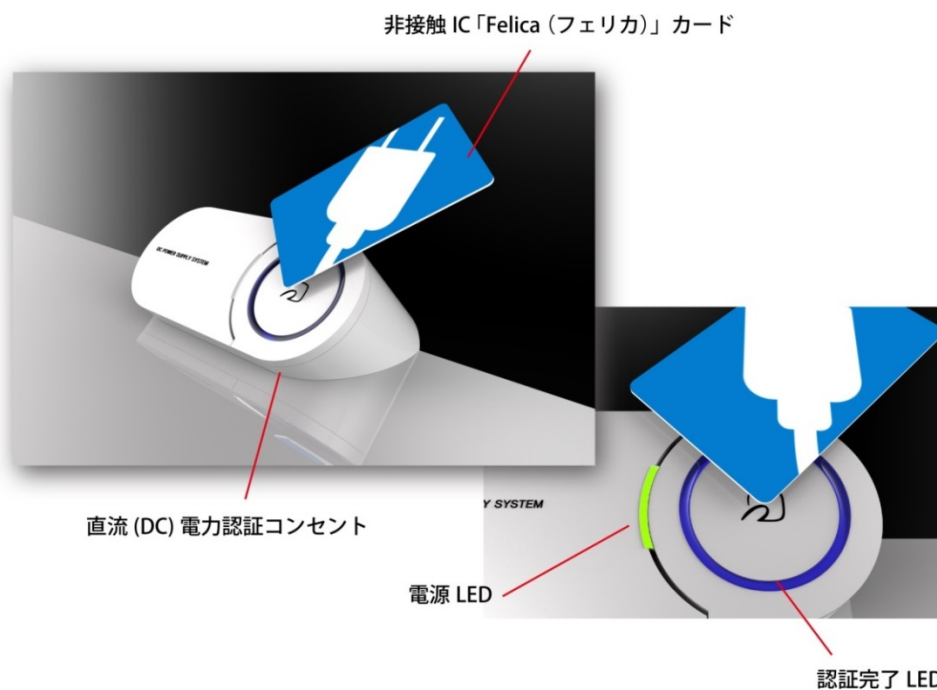


Figure 4-11 Manual of Authenticated Smart Outlet of DC Power supply(2)

このように、認証コンセントは、DC/AC 型に限らず、認証が完了していない場合は、コンセントに電気が流れておらず、省電力化にも貢献するとともに不用意にコンセントに電源プラグ以外のものが挿されてもショートなどが起きず安全なシステムになっている。更に、電気利用者がかざす FeliCa（フェリカ）カードは、利用者情報と紐づいているために、電気利用者がどの端末（場所）でどのような電気（DC、あるいは、AC）を利用し、どのような種類の端末（スマートホンやタブレット、あるいは、パーソナルコンピュータ）を利用したかの履歴（ログ）データの取得を可能とする。

ここでは、スタッキング可能な講義用/会議用テーブルなどに簡単に設置可能な DC 型認証コンセントについて述べたが、その他にも、事務用テーブル、研究室用テーブルなどに埋め込み式で設置可能な DC 型認証コンセント、AC 型認証コンセントも計画した。



Figure 4-12 Authenticated Smart Outlet of AC Power supply(1)
(type of build in the table)

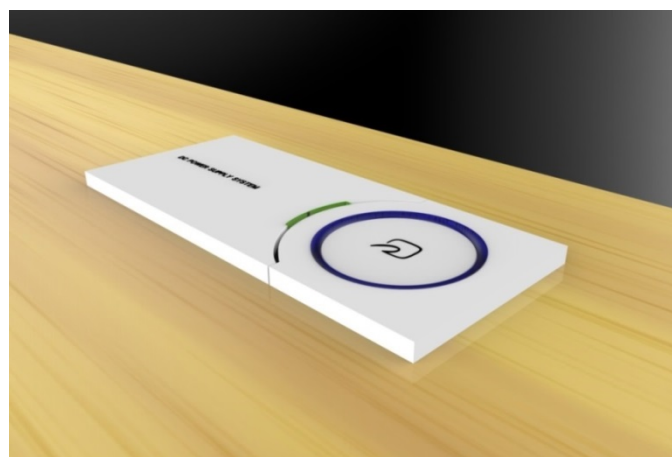


Figure 4-13 Authenticated Smart Outlet of AC Power supply(2)
(type of build in the table)

4-3 行動分析のためのフェリカ統合行動履歴（ログ）収集機能検証システム

4-3-1 概要

本システムは、再生可能エネルギーを活用し蓄電池に蓄積された直流（DC）電力を利用し、ノート型パーソナルコンピュータ（以下「ノート PC」という）や携帯型端末などへ電源供給・充電可能なシステムを開発し、災害時においても有効かつ効率的に電力供給できる機能を持つ直流（DC）コンセントシステムを構築するための機能検証システムである。

4-3-2 全体構成

本システムは、下記の機器等で構成され、概略イメージは、**Figure 4-14** のとおりである。

- ①認証型直流コンセント 5 式
- ②認証サーバ 1 式
- ③非接触型認証カード 50 枚
- ④ルータ 1 式

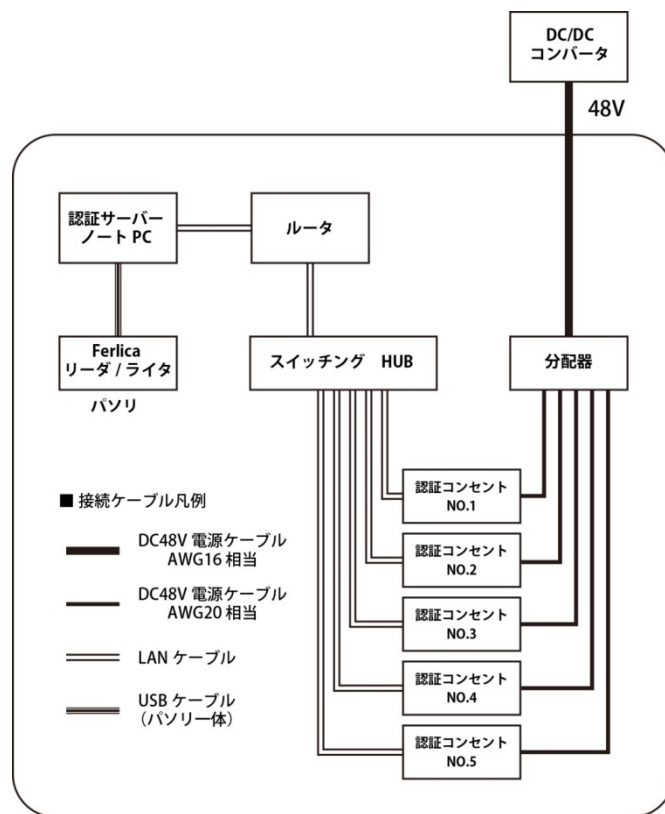


Figure 4-14 Function evaluation system of the Integrated System of LOG Collection by FeliCa System

4-3-3 認証型直流(DC)コンセントのシステム要件

ノート PC や USB 端子を持った携帯端末などの電源供給、充電のために電力を供給できること。

(1) システム入力条件

- ①システム入力条件は、DC48V (DC/DC コンバータ) を供給電源とすること。
- ②入力コネクタは、認証型直流(DC)コンセント裏面または筐体内に1個設けること。

(2) 出力コネクタ

①ノート PC 用コネクタ 1 個

- ・ DC16V ($\pm 1.6V$ 以内)、DC19V ($\pm 1.9V$ 以内) のいずれか (認証サーバー (以下「サーバー」という。) から指定された電圧またはノート PC 用コネクタ出力電圧切換スイッチで選択した電圧) を出力できること。
- ・ 出力電流は、4.2A 以上出力可能であること。

②USB コネクタ 1 個

- ・ USB VBUS 端子出力電圧は、DC5V ($\pm 0.25V$ 以内) であること。
- ・ USB VBUS 端子出力電流は、1.5A 以上出力可能であること。
- ・ iPhone 急速充電対応であること。

(3) カードリーダー 1 個

- ・ FeliCa (フェリカ) カードリーダーを搭載すること。

(4) ノート PC 用コネクタ出力電圧切換スイッチ 1 個

- ・ DC16V、DC19V、Auto (サーバーから指定された電圧) の切換が可能なこと。

(5) サーバー/ローカル切換スイッチ 1 個

- ・ サーバー管理下、強制オン、強制オフの切換が可能なこと。

(6) LED ランプ

①入力電源表示 LED ランプ 1 個

- ・ 48V 入力が給電されている間点灯すること。

②給電表示 LED ランプ 1 個

- ・ 認証中は点滅し、給電中は点灯すること。

③ノート PC 用コネクタ出力電圧表示 LED ランプ 3 個

- ・ DC16V、DC19V、Auto (サーバーから指定された電圧) のいずれかで出力しているかを点灯により表示できること。

(7) LAN 接続端子 1 個

- ①サーバーとの接続のため、認証型直流コンセント裏面または筐体内に設けること。
- ②通信方式は、Ethernet (100Base-T) または無線 LAN(802.11 b/g)と通信プロトコルは、TCP/IP、UDP/IP とすること。

(8) 制御機能

- ①カードリーダーに近接した FeliCa (フェリカ) カード (以下「カード」という。)の情報を読み、サーバーへ転送すること。
- ②サーバーにより、登録済みユーザか否かの判断を行えること。
- ③サーバーから送られて来た情報に基づき下記の動作をすること。
 - ・指定された電圧でノート PC 用コネクタの出力電圧を設定すること。
(ノート PC 用コネクタ出力電圧切換スイッチが Auto ポジションの場合)
 - ・両コネクタから電力出力すること。
 - ・出力電力を測定し、サーバーへ送信 (1 回/分) すること。
 - ・両コネクタの出力電流合計がゼロの状態が 5 分継続した場合、両コネクタの出力を停止すること。
 - ・サーバーからの信号 (一斉停止など) で、両コネクタの出力を停止すること。

(9) 省エネ機能

- ①近接センサーを内蔵し、カードの近接を検出し、カードリーダーを活性化できること。
- ②カードの近接が無い時は、省エネのためカードリーダーは低消費電力状態で待機すること。

(10) ケーブル類

- ①ノート PC 用コネクタとノート PC との接続用ケーブル 1 本
- ②ノート PC 用のコネクタアダプタ 1 式

4-3-4 FeliCa(フェリカ)カードについて

FeliCa (フェリカ) カードは 50 枚を準備し、それぞれのカードに 16 桁の ID を記録。

カード ID : 0000-0000-0000-0001 から 0000-0000-0000-0050

それぞれのカード ID に対して、FeliCa (フェリカ) サーバーにて以下の認証コンセン
トの利用に関する 3 通りの権利を設定することが出来る。

(1) 個人カード

ある電気利用者 (カード) で使用し始めた認証コンセン
トは、その電気利
用者でなければ停止できない利用方法を想定したもの。

(2) 一般カード

ある電気利用者 (カード) で使用し始めた認証コンセン
トは、他の電気利用
者 (カード) でも停止できる利用方法を想定したもの

(3) 管理者カード

個人カードで使用し始めた認証コンセン
トを停止させる場合など、管理者として上位の
権利をもたせたもの。

また、それぞれのカードは 1 分刻みで 24 時間までと無限大のタイマー指定が可能とな
っており、電気利用者の利用方法によってタイマー時間を設定可能となる。たとえば、
講義室での利用が多い場合は、講義時間 90 分を一つの単位として設定しておけば、利
用者が停止忘れになったとしても自動的に通電を停止する仕組みがとれる。

カードの登録 / 削除は、専用の認証サーバー (管理用 PC 端末) を利用し、以下の設
定が可能である。

①利用者名

②カード種類 (個人、一般、管理者)

③出力電圧 (16V、19V)

④タイマー時間

④削除

また、認証サーバーからは各認証コンセン
ト端末に対して、以下のように動作設定が可
能である。

①通常動作 / 停止待機設定

- ・ 端末にカードをかざすことで電源を ON/OFF する。
- ・ 出力電圧はカードに登録されている電圧。

②全端末一斉動作設定 （災害時にどの端末でも利用可能とする）

- ・全ての端末の電源を ON にする。
- ・出力電圧は 16V。

③全端末一斉停止設定 （災害時どの端末にも通電をしない）

- ・全ての端末の電源を OFF にする。

4-3-5 利用状況情報

必要に応じて、以下のように、利用状況を調べることが可能である。

①ログの一覧表示

- ・端末の利用状況を時間順に表示する。

②利用者別表示

- ・利用者別の利用状況の統計を表示する。

③端末別統計表示

- ・端末別の利用状況の統計を表示する。
- ・端末別利用電力表示
- ・端末別の利用状況を表示する。更に、端末を選択して表示ボタンを押すことでグラフ表示が可能である。

このように、これらのデータは管理サーバから上記のように閲覧することも可能だが、**Figure 4-15** にもあるようにそのデータは統合エネルギーマネジメントシステムに送られ、電気機器を使用する利用者に CO₂ 削減に寄与するための行動変容を促す様々な情報やインセンティブを与える統合的 EMS の開発を可能とする。

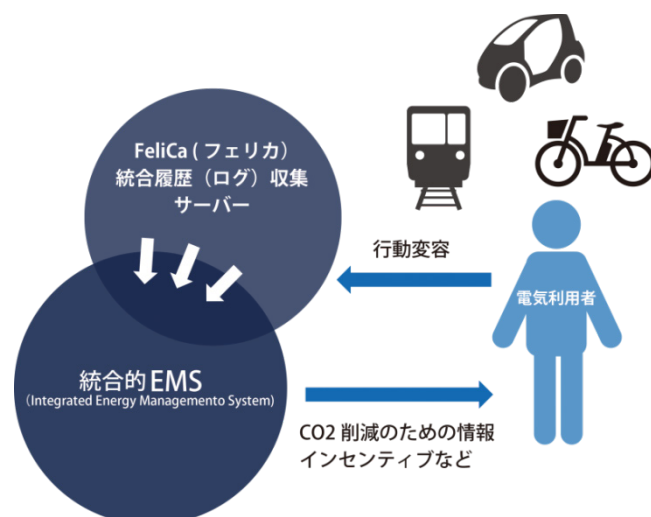


Figure 4-15 Integrated System of LOG Collection and a Human Behavior Change

4-3-6 フェリカ統合行動履歴（ログ）収集機能検証システム

完成したフェリカ統合行動履歴（ログ）収集機能検証システムを紹介する。



Figure 4-16 Saver of the Integrated System of LOG Collection



Figure 4-17 Switching Router and HUB



Figure 4-18 Electrical Distributor



Figure 4-19 Authenticated Smart Outlet of DC Power supply (upper surface)

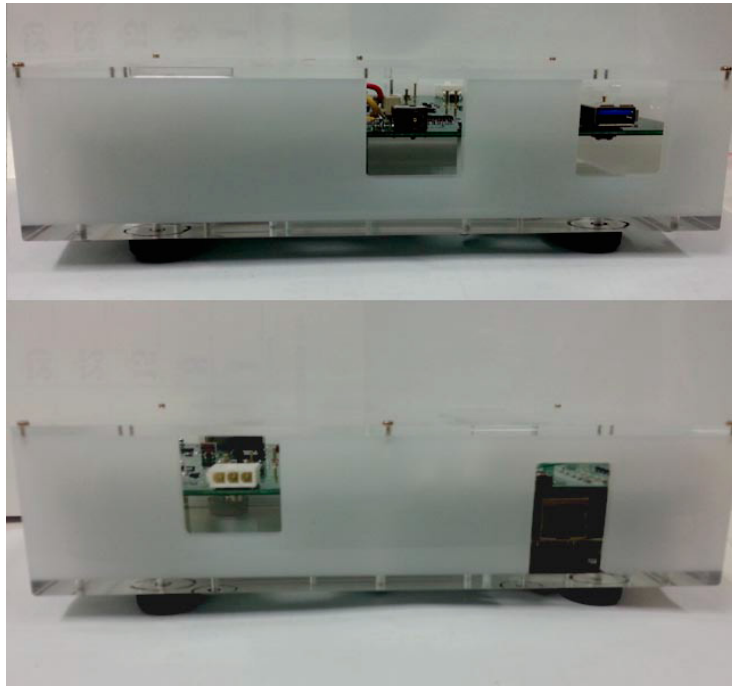


Figure 4-20 Authenticated Smart Outlet of DC Power supply (side surface)

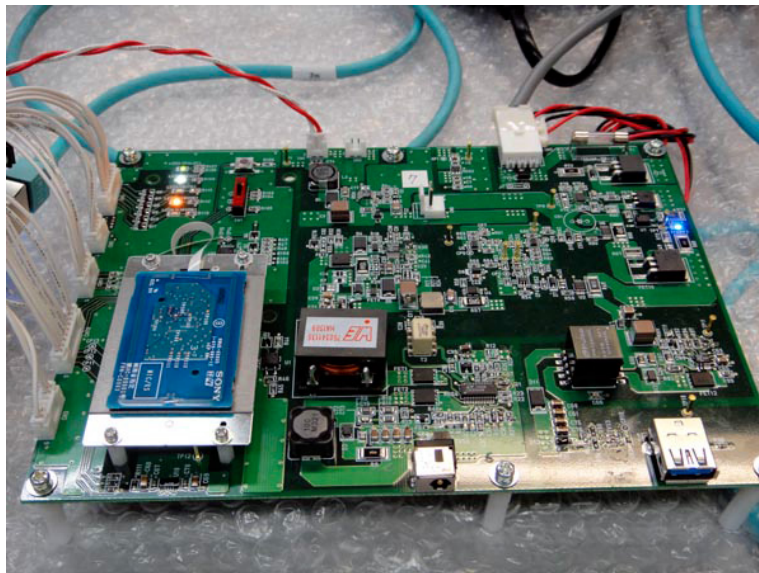


Figure 4-21 Main Board



Figure 4-22 MPU Board

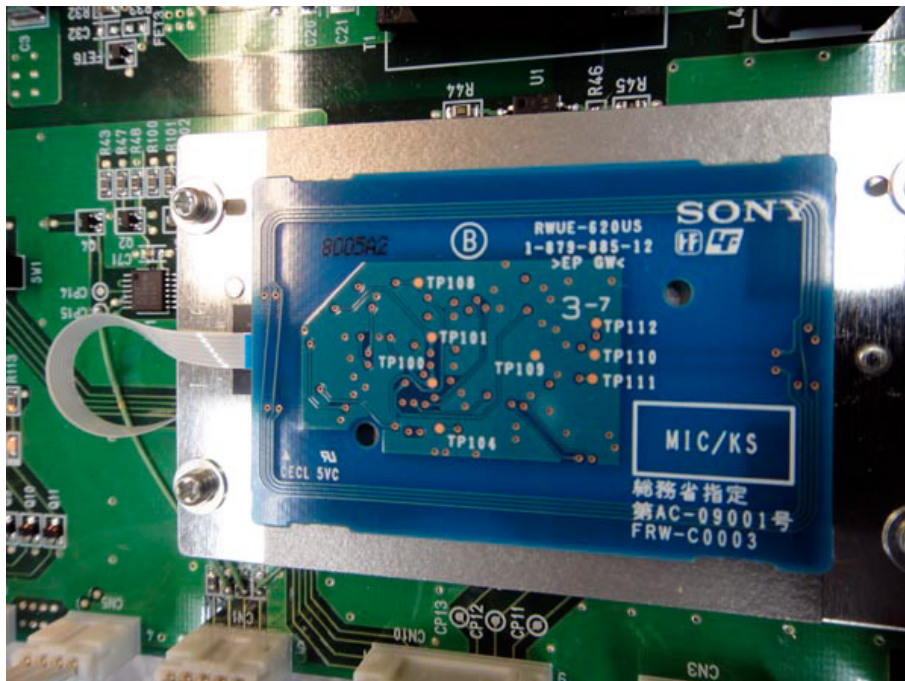


Figure 4-23 FeliCa Reader and Writer

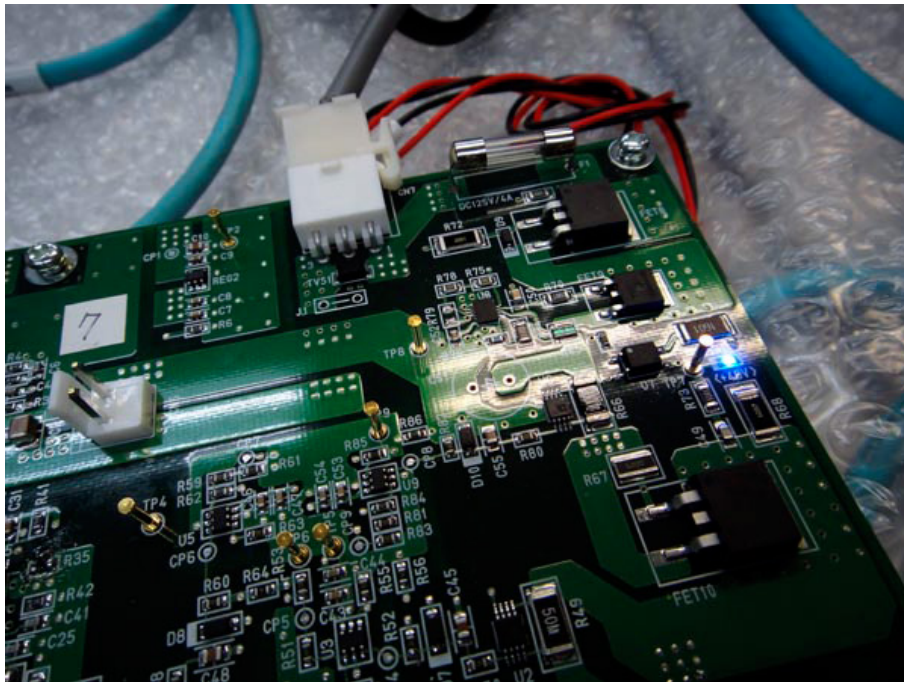


Figure 4-24 LED for checking a input voltage

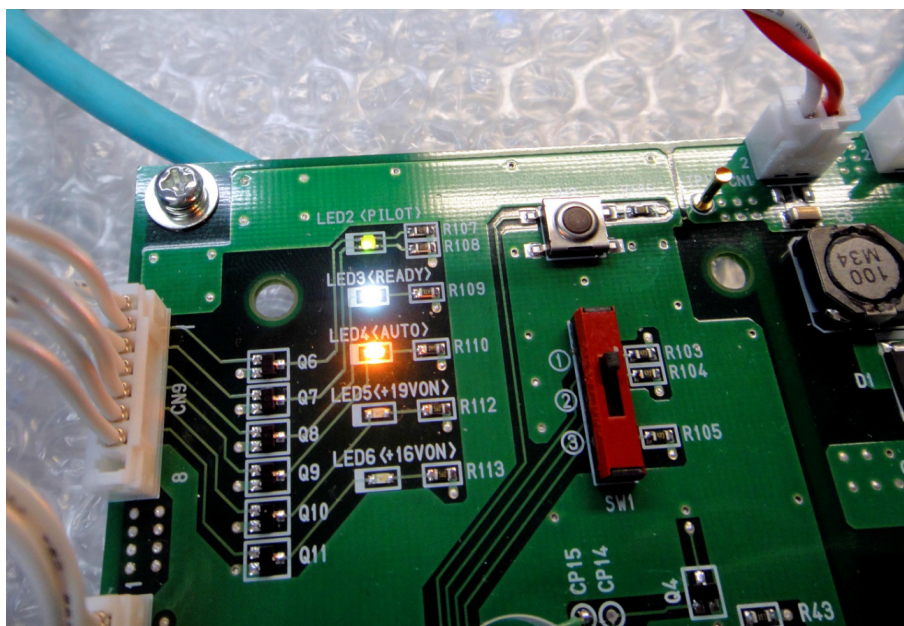


Figure 4-25 LED for checking a output voltage

4-4 コミュニティ形成を意識した多目的給電ステーション (IDOBATA)

4-4-1 概要

第3章で検討した DC/AC ハイブリッド制御システムだけでは、更なる CO₂削減の達成には限界がきており、そのためには電気利用者の省エネ行動に期待する部分が大きく、それを確認するために、行動変容を促すための電気利用者の行動を把握する仕組み作り(システム)が重要であることを“学んだ”。そのために、電気利用者の行動を適時に知ること、そして、その結果を分析し、CO₂削減のための的確な情報を知らせることが重要だと考え、「FeliCa(フェリカ)」による認証システムを利用した電気利用者の行動履歴を収集するシステムの検討を行った。そして、このシステムを東北大学新青葉山キャンパス、大学院環境科学研究科新棟へ設置するべく検討を重ねたが予算に関係で断念せざるを得なかった。そこで、小規模ではあるが、これらの技術を利用した、人間行動変容を促すための新しいサステナブルデザインを達成するため要件をまとめるべく「コミュニティ形成を意識した多目的給電ステーション」の検討を行った。電気利用者同士の情報交換がもたらす行動変容の仕組みを“学ぶ”システムである。

4-4-2 デザイン・コンセプト

コンセプトは「IDOBATA・いどばた」

本システムは、太陽光パネルで発電した直流 (DC)の電気を蓄電池に貯め、EV(電気自動車) やスマートホン、パーソナルコンピュータに直流 (DC)電源を供給するものである。すなわち、ノート型パーソナルコンピュータ (以下、ノート PC) の AC アダプターがなくてもケーブルさえあれば充電を可能とする。

また、EV (電気自動車) やスマートホン、ノート PC に充電している待ち時間にそこに集まってきた利用者どうし世間話ができるような情報の交換の場としても活用してもらえることをコンセプトとした。

井戸端会議は、江戸時代、井戸は長屋の共同設備として飲料水はもとより炊事、洗濯から行水にいたるまで、水を利用する場所として生活に欠かせない存在だった。そして、同じ長屋に住む住民が順番に井戸の水を桶に汲みそれぞれの家に水を運んだ。順番を待っている間に世間話や噂話に花が咲きその雑談に興じていた。この様子をからかうかのように「井戸端会議」という言葉が生まれたといわれている。



Figure 4-26 Water Cooler Talk (Idobata-Kaigi)

また、最近のコンビニエンスストアは、EV ステーションとともにイートインコーナーを併設した店が多くなってきた。このような機能をもった EV ステーションを考え、井戸端会議のように世間話がうまれる。そのための「コミュニティ形成を意識した多目的給電ステーション」である。「いどばた」は水があるから人が集まる、ここは「電気」があるから人が集まり情報の交換をおこなうことで“学び”があり人は行動変容する。それを具体化、実現するための実施提案である。



Figure 4-27 Convenience Store with an EV Station and a Eat in Conner

ここは、その水（みず）に代わって電気（でんき）太陽光で発電した電気を一旦蓄電池に貯め、そこから、スマートホンやノート PC に電気を供給する。また、EV（電気自動車）への電気も供給機能を持っているが、逆に、EV（電気自動車）からの電気を供給してもらえるシステムになっており、非常時には EV（電気自動車）を介して電気の送電ネットワーク（送電網）を形成することも可能となる。充電には少し時間がかかるが、そのあいだ、ここで休憩しながら同じ充電を待っている人たちと会話するのも良し、椅子に座って読書をするも良し、太陽の光、自然の風を感じながらいつかの時間を過ごすことが可能な多目的給電ステーションである。

デザイン的には各種機能を持ったキューブを組み合わせることにより、設置場所ごとの条件にあわせた仕様に組み替えること（カスタマイズ）ができるようになっている。また、DC 型認証コンセントを使用することで利用者の電気有効利用の意識づけを促すための仕組みも導入している。

4-4-3 機能

1. 多様なエネルギーと情報の井戸

太陽光パネルで発電した直流（DC）の電気を蓄電池に貯め、EV（電気自動車やスマートホン、パーソナルコンピュータに直流（DC）電源を供給する。

多目的給電ステーションに設置された DC 型認証コンセントはそれぞれのパーソナルコンピュータの電圧にあった直流（DC）で電源を供給するために AC アダプターがなくてもケーブルさえあれば充電が可能なシステムになっている。

更に、デジタルサイネージを活用することにより様々な情報の提供が可能である。

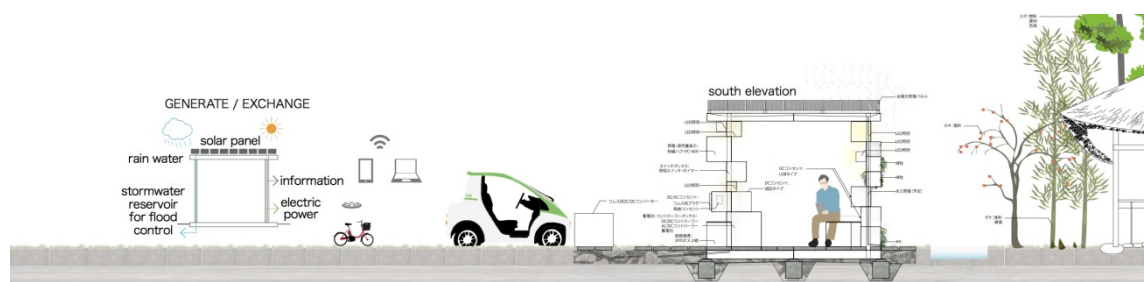


Figure 4-28 Well with many kind of Energies and Information

2. カスタマイズ可能な CUBE の集合体

各種機能を持ったキューブを組み合わせることにより、設置場所ごとの条件にあわせた仕様に組み替えること（カスタマイズ）ができるようになっている。

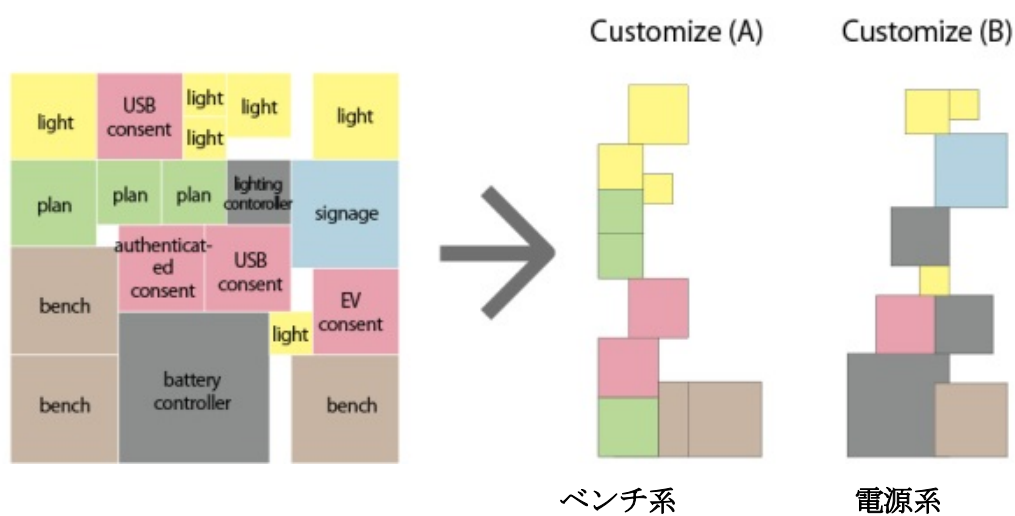
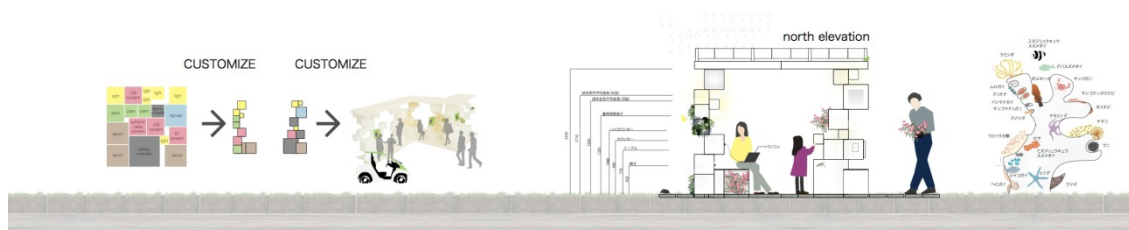


Figure 4-29 Set of various kind of Customizable Cubes

3. 平常時・非常時ともにエネルギーと情報を分け合う拠点

天候の影響で太陽光パネルの発電量が不足し蓄電池の残量が少なくなった場合は電気自動車（EV）から給電。双方向の電力マネジメントが可能である。

平常時や非常時にも電気自動車（EV）や電動パワーアシスト付自転車を介して電気の送電ネットワーク（送電網）を形成することも可能となる。



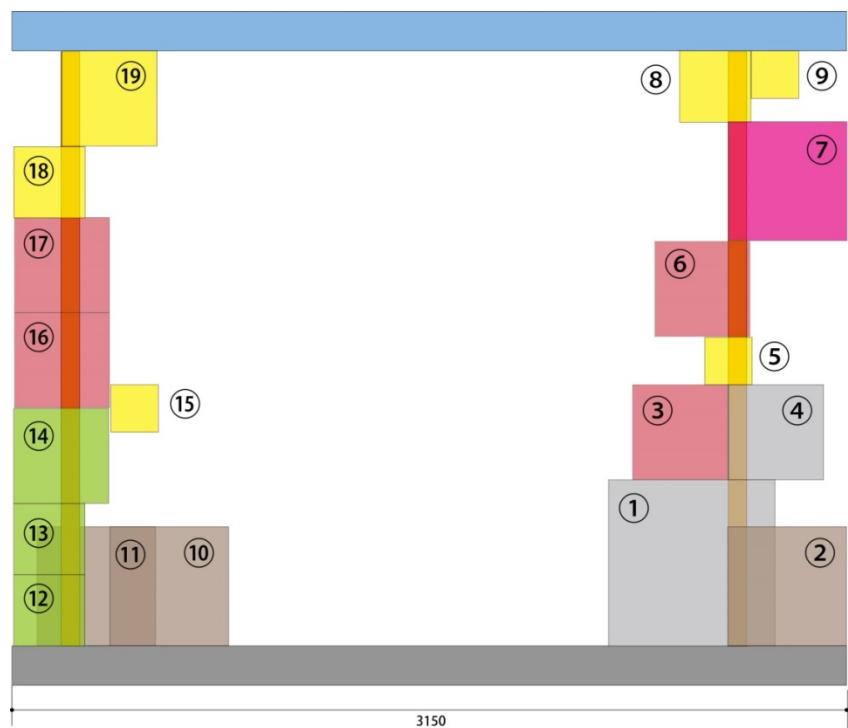
Figure 4-30 Electric Transmission Network through an Electric Vehicle

4-4-4 モジュール (キューブ)

各キューブは以下のようにそれぞれに異なる機能を有している。

- ①蓄電池・コントローラー・AC/DC ×2 個
- ②ベンチ
- ③照明スイッチ・照明タイマー接続箱
- ④コムス用電源コンセント・系統コンセント
- ⑤直流型 LED 照明
- ⑥DC 型認証コンセント
- ⑦デジタル・サイネージ
- ⑧直流型 LED 照明
- ⑨直流型 LED 照明
- ⑩ベンチ
- ⑪ベンチ
- ⑫植物 (下)
- ⑬植物 (中)
- ⑭植物 (上)
- ⑮直流型 LED 照明
- ⑯USB コンセント
- ⑰USB コンセント
- ⑱直流型 LED 照明
- ⑲直流型 LED 照明

これらをブロック状に積み重ねることで多目的給電ステーションを実現している。これにより、多目的ステーションが置かれる地域によって必要な機能、不要な機能をカスタマイズが可能である。



B: ベンチ

【北側立面図】

A: 電源系

- | | |
|---------------------------|--------------|
| ① 蓄電池・コントローラー・AC/DC x 2 個 | ⑪ ベンチ |
| ② ベンチ | ⑫ 植物 (下) |
| ③ 照明スイッチ・照明タイマー接続箱 | ⑬ 植物 (中) |
| ④ コムス用電源コンセント・系統コンセント | ⑭ 植物 (上) |
| ⑤ 直流型 LED 照明 | ⑮ 直流型 LED 照明 |
| ⑥ DC 型認証コンセント | ⑯ USB コンセント |
| ⑦ サイネージ | ⑰ USB コンセント |
| ⑧ 直流型 LED 照明 | ⑱ 直流型 LED 照明 |
| ⑨ 直流型 LED 照明 | |
| ⑩ ベンチ | |

Figure 4-31 Layout of Cubes for Implementation Proposal
(north side elevation view)

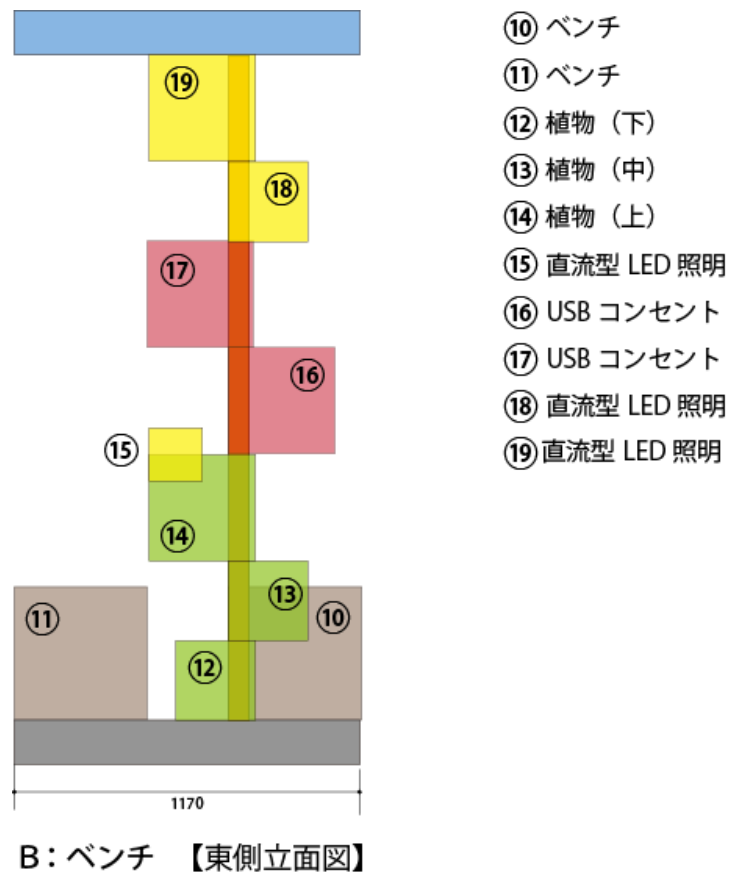


Figure 4-32 Layout of Cubes for Implementation Proposal
 (east side elevation view)

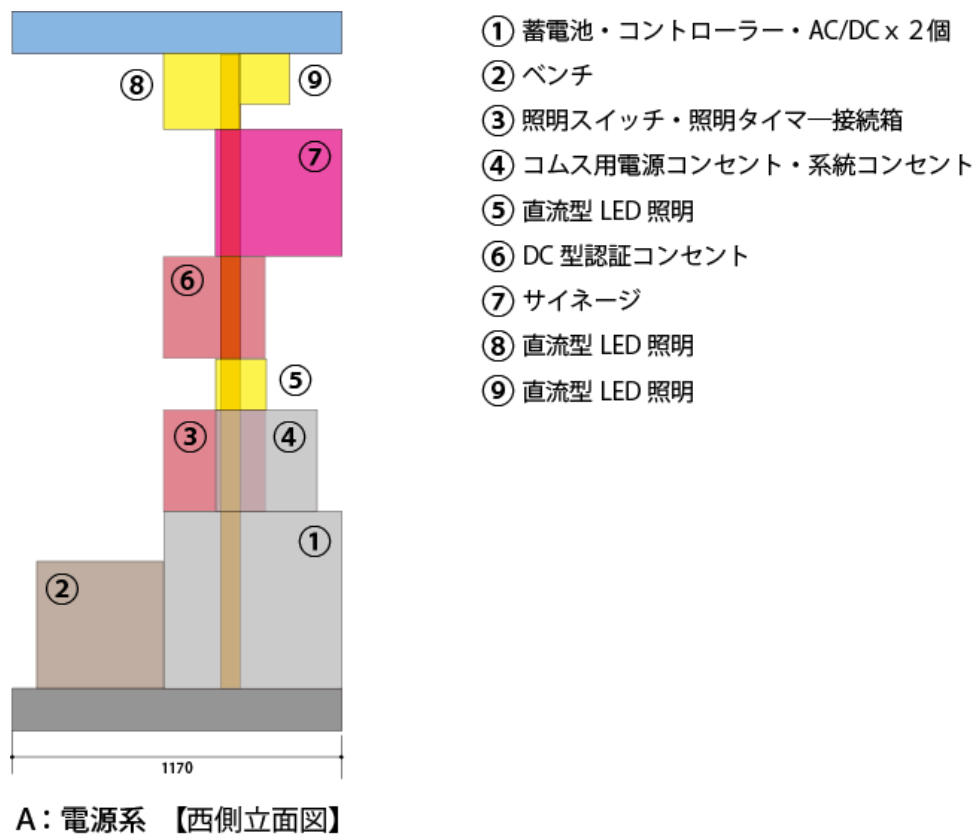


Figure 4-33 Layout of Cubes for Implementation Proposal
 (west side elevation view)



Figure 4-34 Digital Signage CUBE

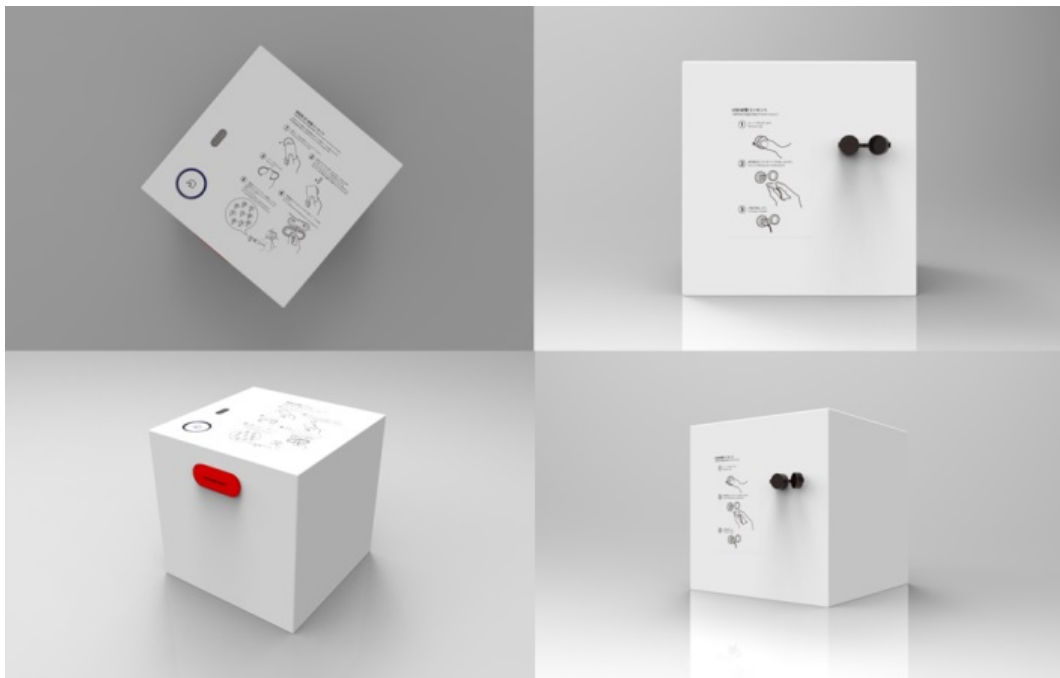


Figure 4-35 CUBE of the Authenticated Smart Outlet and the USB Outlet



Figure 4-36 CUBE of the USB Outlet



Figure 4-37 CUBE of the USB Outlet (when using)

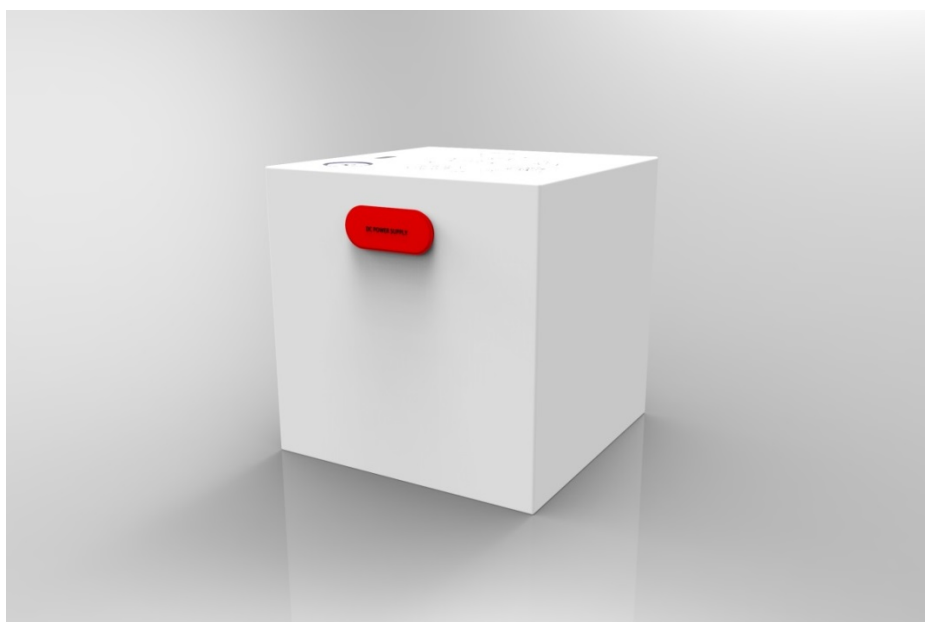
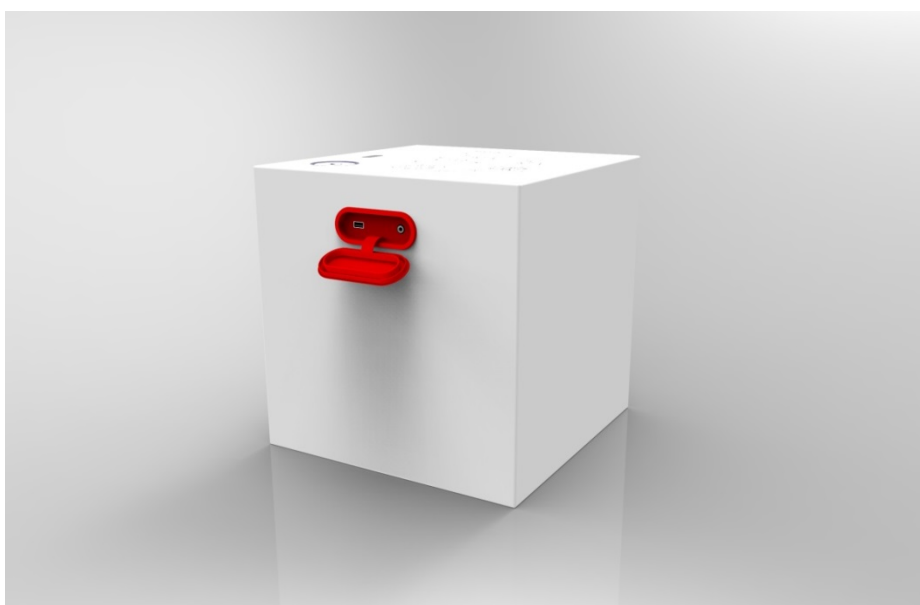


Figure 4-38 CUBE of Authenticated Smart Outlet of DC Power supply



**Figure 4-39 CUBE of Authenticated Smart Outlet of DC Power supply
(when using)**



Figure 4-40 User Manual(1) for Authenticated Smart Outlet of DC Power supply



Figure 4-41 User Manual(2) for Authenticated Smart Outlet of DC Power supply

多目的給電ステーションは屋外に設置されるために DC 型認証コンセントキューブ、USB コンセントキューブは、防塵、防滴仕様に設える必要がある。
そのために、屋内用にデザインされた **Figure4-42** より、それに耐えうるカバーが必要とされる。



Figure 4-42 Authenticated Smart Outlet of DC Power supply (for indoor use)

また、キューブ内に設置するために防塵、防滴仕様になったカバーの形状など新たにデザインを起こす必要があった。

幸い、USB コンセント・キューブについては、市販のオートバイ用 USB コンセントが存在していたためにこれを使用することにしたが、DC 型認証コンセントについては、これ自体が新しい試みであるために、新規でデザインを起こすこととした。また、DC 型認証コンセント・キューブは 4-3 で製作したフェリカ統合行動履歴（ログ）収集機能検証システムのメイン基板をそのまま使用し製作した。

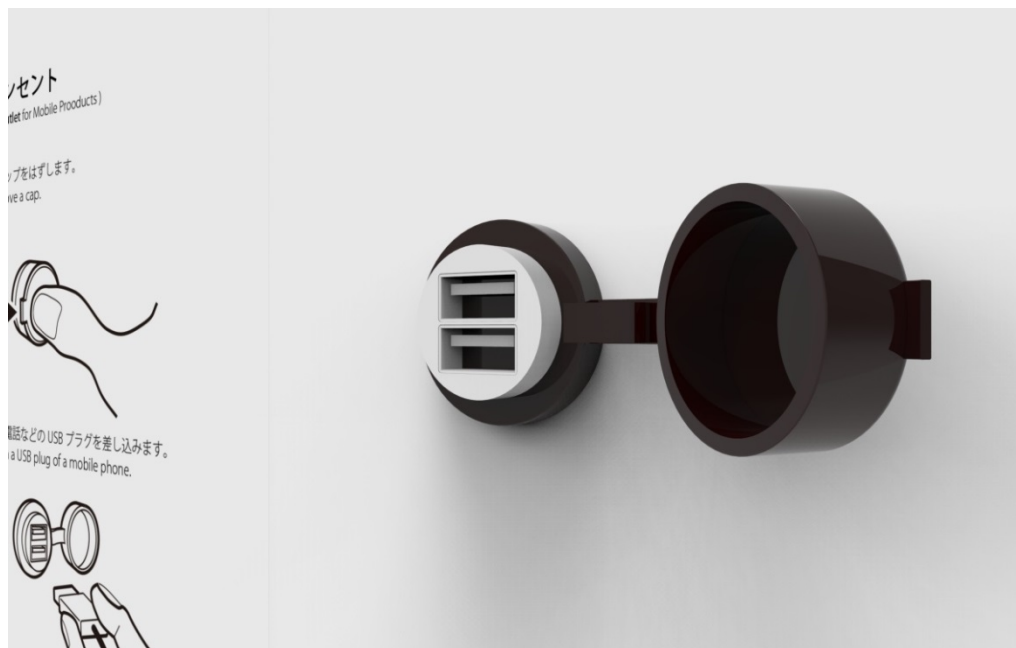


Figure 4-43 USB Outlet (for outdoor use)



**Figure 4-44 Authenticated Smart Outlet of DC Power supply
(for outdoor use)**

防塵、防滴処理のためカバーの形状が深く水や埃が入りにくい 2 重構造になっている。

4-4-5 多目的給電ステーションデザインイメージ



Figure 4-45 Design Image(1) of Multipurpose Electricity Supply Station (IDOBATA)



Figure 4-46 Design Image(2) of Multipurpose Electricity Supply Station (IDOBATA)

4-4-6 多目的給電実施提案システム（IDOBATA）外観

以下に、実際の多目的給電実施提案システム（IDOBATA）の外観を紹介する。



Figure 4-47 Multipurpose Electricity Supply Station(1) (IDOBATA)



Figure 4-48 Multipurpose Electricity Supply Station(2) (IDOBATA)
Authenticated Smart Outlet of DC Power supply



Figure 4-49 Multipurpose Electricity Supply Station(3) (IDOBATA)



Figure 4-50 Multipurpose Electricity Supply Station(4) (IDOBATA)



Figure 4-51 Multipurpose Electricity Supply Station(5) (IDOBATA)



Figure 4-52 Multipurpose Electricity Supply Station(6) (IDOBATA)



Figure 4-53 Multipurpose Electricity Supply Station(7) (IDOBATA)



Figure 4-54 Multipurpose Electricity Supply Station(8) (IDOBATA)



Figure 4-55 Multipurpose Electricity Supply Station(9) (IDOBATA)

4-5 21 世紀型の新しいコンパクトシティ（統合的 CO₂ 削減システム）構築のための要件

人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインを達成するために 第 4 章では「どういう仕組みを持てば良いかを“学ぶ”ことが必要である」について検討した。

「人間行動変容を促す新しいサステナブルデザイン」は第 3 章で検討した「DC/AC ハイブリッド制御システム」、ハードウェアによる CO₂ 削減のためのエネルギーマネジメントシステムに第 4 章で検討した電気利用者の「行動履歴を収集するシステム」や「電気利用者同士の情報交換がもたらす行動変容の仕組み（システム）」による人間行動変容システムを加味することで更なる CO₂ 削減を可能とすることが明確になった。特に、第 4 章で検討したシステムにおいて、必ずしも、人間行動変容による効果測定ができたわけではないが、少なくとも、ガソリン車から電気自動車（EV）、電動パワーアシスト付自転車や公共交通機関（地下鉄）を利用することで、大きな CO₂ 削減効果があることが分かった。そして、そのために何かしらのインセンティブを与えることで、生活者の行動に変化をもたらすことができれば、CO₂ 削減目標である **40%削減**を達成できることが明確になった。

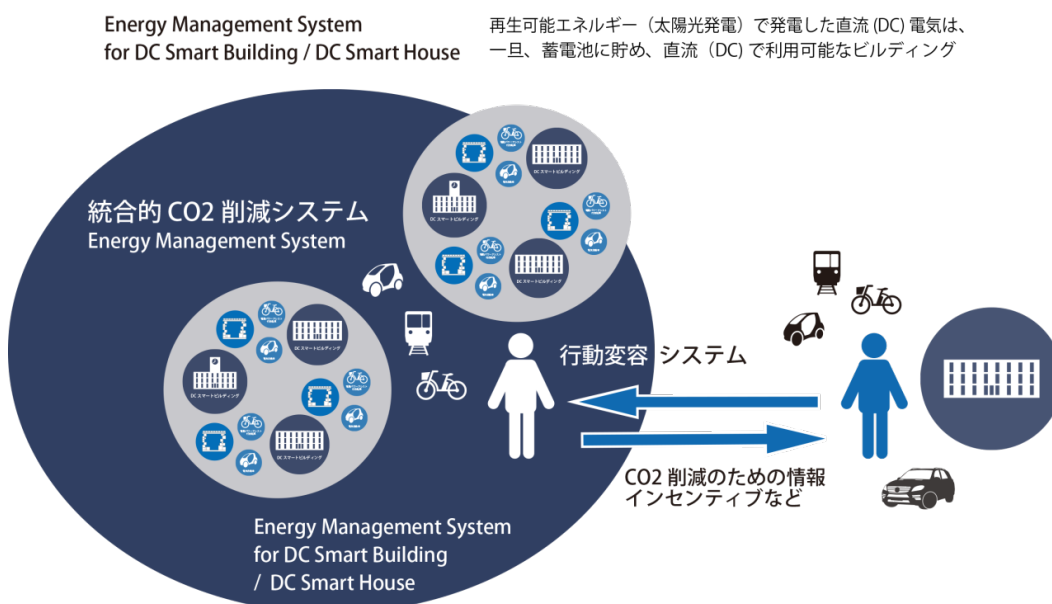


Figure 4-56 Conceptual Map in the compact city with the new 21st century type

そして、これらの検討の結果、「**21 世紀型の新しいコンパクトシティ構築**」についても要件をまとめることを可能とした。以下は、その要件である。

1. 人間に行動の変化を起こさせるための魅力的なデザイン

同じ機能、同じ価格の商品どうしをくらべた時に、生活者はデザイン性に優れたモノを選択する。それは課題に対する解が生活者の視点に立ち、生活者が抱えている課題の本質を捉え、課題を解決しているからである。そして、それを使った時のストレスを最小限に抑えているからである。もちろん、審美的な要素は言うまでもない。だからデザイン性が優れた魅力をともなった商品を生活者は購入する。そして、生活者の行動を変化させるきっかけになると考える。

2. 人間に行動の変化を起こさせるためのインセンティブデザイン

たとえば、公共交通機関（地下鉄）と連携したパーク&ライドによりガソリン車から地下鉄利用による通勤・通学に変更した場合には、学生食堂で利用できる割引券の発行などのインセンティブを与える。

3. 直流（DC）給電システム、および、直流（DC）駆動の電化製品の開発

直流（DC）で駆動する機器の開発により直流(DC)給電は太陽光発電からの電力を配電ロスなく最大限に活用するための有効な手段となり得る。

4. 再生可能エネルギーの高効率利用

- 変換効率 16%以上の太陽光パネルの利用。
- 発電した電力を優先的かつ 100%消費するための EMS で制御。
- 安定供給のため高性能リチウムイオン電池の設置。
- 発電の余剰電力は電気自動車(EV)および電動パワーアシスト付自転車に蓄電する。
- 電気自動車（EV）に蓄電した電力は統合して利用。
- 直流負荷：直流型電気エアコン、直流型 LED 照明、ノート PC、直流型 EV、直流型電動パワーアシスト付自転車。

5. 電気自動車（EV）および電動パワーアシスト付自転車

固定用蓄電池と併用することで電力の安定供給に寄与するように

- 蓄電部分にリチウムイオン電池を用いて太陽光発電の電力を高効率利用。

- 公共交通機関（地下鉄）と連携したパーク＆ライドによりガソリン車から地下鉄利用による通勤・通学への誘導。

6. 人間の行動履歴を把握可能な EMS（エネルギーマネジメントシステム）

- これらの機器を利用するための電力スイッチの導入、
（認証型コンセント）見える化、 ヒューマンインターフェースを含む統合的な EMS（エネルギーマネジメントシステム）の構築。
- エネルギーの最適利用管理、建物内の各種モニタリングシステム、建物外のモニタリングシステムを統合化、見える化し人間行動変容を促すことを可能とするシステム の構築。
- 見える化については、少なくとも以下に示す機能を有する
 - ・ 導入拠点の電力消費量の計測と表示
 - ・ 30 分以内の電力消費量の計測を可能とする。
 - ・ デマンドレスポンス機能を有する。
 - ・ 蓄積されたデータは、単位時間 60 分以内でサンプリングの作成を可能とする。
 - ・ 計測機能の変更、増設に伴う表示の変更が可能であり、過去のデータと比較し省エネ状況の確認と課題の抽出が可能である。

ただし、これらを実行するためには、以下のような課題もみえてきた。

1. 電気利用者の行動履歴を収集するためのインフラの整備（FeliCa 認証システム）
など設備投資に多くの費用が発生する。セキュリティ・カメラによる画像処理技術を利用した顔認識技術、また、携帯電話やスマートホンなどを利用したジオフェンシング技術などもあるが、精度良く電気利用者の位置情報や消費電力量などを取得するには同じような、あるいは、それ以上の設備投資が必要である。また、特に、セキュリティ・カメラによる顔認識などは電気利用者が不快に思うことも手伝い、あらゆる場所への設置を困難とする。
2. FeliCa カードは東北大学生生活共同組合、仙台市交通局市営地下鉄、電動パワーアシスト付自転車のレンタルサービス、EV ステーションなどあらゆる場所で利用されており、電気利用者の位置情報などを収集できる環境にはあるが、それぞれの企業から個人情報を開示してもらう必要がある。

3. ゲーム性を用いたインセンティブのデザイン（ゲーミフィケーション）も考えられるが、バッジやポイント、レベルといった表面的な報酬だけが目当ての電気利用は、その報酬がなくなれば行動をやめてしまう。ゲーム要素による「きっかけ」作りだけでなく、その後の長期的なモチベーションに繋がる「価値」について、あらかじめ設計しておくことを忘れてはいけない。最初は報酬が目当てだったとしても、参加する過程で電気利用者自身に、その行動によって得られる本質的な価値に気づかせる必要がある。（参考文献 12. 、 13.）

本研究ではインセンティブデザインを具体的に提案し実証することができなかったが、人間行動変容を促すサステナブルデザインにとって重要な要素だと考える。これについては、今後の課題として優先順位を高く考えて行きたい。

第5章 まとめ

第5章 まとめ

第2章では、

人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインを達成するために、こどもたちを対象に「人間行動変容を促すための環境配慮商品を“学ぶ”」を検討した。それは、こどもたちの持つ、純粋な気持ち、探究心、好奇心、エネルギーはダイレクトにその反応を私たちに伝えてくれるからである。こどもに楽しんで使ってもらえるエコのカタチについて検討し、次のような結論が得られた。

1. エゴではなく、楽しみを追加することが人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインとして重要であることが明確になった。
2. デザイン性、使いやすさが追加されると使ってもらえることが明確になった。

第3章では、

人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインを達成するために「CO₂削減を体感するためにいかに“学ばせる”機会をあたえるか」について検討した。そして、再生可能エネルギー（太陽光発電）により発電した電気の有効利用のためには直流（DC）をそのままに使うことが一番良いことが明らかになった。また、一般的なシステムが蓄電システムや制御システムなどはバックヤードに配置されており、システムの概要を知るにはシステム図を見せられるだけでシステム本体を見学できないことに反し、このシステムは、システム全体をすぐ近くで見学できることと「電気の見せる化」を積極的に行い、デザイン性にも配慮したシステムに設えた結果、デザインの的にも魅力的なシステムに設えられれば、それに惹かれて多くの生活者が見学に訪れることが明確になった。そして、見学者のCO₂削減行動の変化へ導く、“学ばせる”システムの要件が明らかになった。ただ、これだけでは不十分であることも明らかになった。それは、見学後の行動に変化があったかの検証ができていないからである。そこで、それを検証するためにも、生活者の行動履歴を把握するシステムが必要となることがわかった。

第4章では

第3章の結果を踏まえ、人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインを達成するために第4章では「どういう仕組みを持てば良いかを“学ぶ”ことが必要である」について検討した。そのために、その結果、再生可能エネルギー（太陽光発電）を効率よく使うためには、電気利用者の行動の変化が必要なことが明らかになった。そのために、電気利用者がCO₂削減に貢献したらインセンティブを与える仕組みが必要となり、そ

のシステムをどのように作れば良いかが明らかになった。更に、電気利用者同士の情報交換も有効な手段になることもわかった。

これらから得られた結果として、21 世紀型の CO₂ 削減システムは再生可能エネルギー（太陽光発電）の有効利用のために直流をそのままに使うシステムだけでなく、人間行動変容を促すシステムも、その要件を満たす上で欠かせないものであり、それらが相互に融合していくことを導く、**新しいサステナブルデザイン**が必要とされていることが明確になった。

そして、人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインの要件を以下に示す。

人間行動変容を促す新しいサステナブルデザインの要件

1. プロダクトデザイン・建築は、環境への配慮を意識したものである。
2. 多くの生活者はデザイン性を感じられることとして「魅力あるデザイン」に期待を寄せている。環境性能だけを満たしたのではなく、それ自体が「魅力のあるデザイン」である。
3. 生活者の行動（気持ち）を把握することができれば、その後のサービスや活動（ワークショップ）において、生活者の行動変容を促すことが可能となる。その機能を有していること。
4. 環境配慮したサービス・活動（ワークショップ）は、人間行動変容を促すために計画されたものである。

そして、

使いやすさ、機能性、更に、環境性能を満たしつつ、且つ、生活者が手にとってみたくなる審美性においても魅力的なデザインを有し、生活者が地球環境にも配慮したいと学ばせる。これらの要素が総合的に含まれているもの。それが**人間行動変容を促す新しいサステナブルデザイン**であると考ええる。

最後に、

地球、この美しく、豊かな星はこの広大な宇宙のなかでも奇跡と言わざるを得ない。ただ、現在では、人類が豊かな生活のための経済活動という名のものと引き起こした温室効果ガス（CO₂）増加のために地球の温暖化という病に侵されている。人類だけではない、この地球の中で生きている動物や植物、そして、それらを取り巻く環境が病んでいる。そして、この地球が元気を取り戻すためにも、温室効果ガス（CO₂）削減は急務である。この研究を通して、CO₂削減のための科学技術の進歩もそうだが、やはり、人類（以下、生活者）が、その重要さに気づき、生活者が CO₂ 削減に寄与するよう、そ

の生活そのものを変化させる必要性が明らかになった。ただし、人間行動変容を促すために、社会構造の問題、技術的な問題、経済性の問題が立ちはだかることもわかっており、本研究ではそれらについて言及し、解決する提案までは至っていないが、**人間行動変容を促す新しいサステナブルデザイン**が果たす役割が大きいことは明確である。**サステナブルデザイン**は生活者の心に豊かさを与えることができる。ただ単に、制約を付け加えた CO₂ 削減ではない、豊かな心を持ちつつ、その行動を変化させる力があると信じてやまない。この知見を踏まえ、生活者に魅力を感じて使ってもらえる環境配慮商品のデザイン開発を行っていききたい。また、それを伝えるためには教育という観点も必要だと感じている。教育の現場に身を投じることで、CO₂削減のために生活者の行動の変化が必要であることを伝えていきたい。更なる CO₂削減の目的を達成したい。

参考文献

1. デザインに関する意識調査 結果レポート～世代を超え、72%がデザインに関心を示す～ 日本産業デザイン振興会と goo リサーチが共同調査
<http://www.jidp.or.jp/archives/res/0801/res.html>
2. Sony Design History
<http://www.sony.co.jp/Fun/design/history/index.html>
3. ソニーヘッドホンの歴史
<http://20cheadatabase.web.fc2.com/SONY/sonyindex.html>
4. サステナブルデザインとは？ BIMをもっと知りたい AUTODESK
<http://bim-design.com/special/sustainable/index.html>
5. 現代住宅の諸問題 1 ― なぜサステイナブル・デザインなのか 難波和彦
「10+1」LIXIL 出版
<http://db.10plus1.jp/backnumber/article/articleid/1258/>
6. サステナブルデザインガイドブック (富士通)
<http://www.fujitsu.com/jp/about/businesspolicy/tech/design/eco/newguide01.html>
7. 東京造形大学 サステナブルデザイン専攻領域
<https://www.zokei.ac.jp/department/sp.html>
8. 電気自動車は環境にやさしいの？ (国立環境研究所)
<http://www.nies.go.jp/social/traffic/pdf/7-1.pdf>
9. スマートビル DCAC ハイブリッド制御システムパンフレット
http://www.kankyo.tohoku.ac.jp/pdf/dcac_hybrid_jp.pdf (日本語)
http://www.kankyo.tohoku.ac.jp/pdf/dcac_hybrid_en.pdf (English)

10. DOE GLOBAL ENERGY STORAGE DATA BASE
Office of Electricity Delivery & Energy Reliability
<http://www.energystorageexchange.org/projects/350>
11. FeliCa Pocket
<http://www.sony.co.jp/Products/felica/felicapocket/>
12. ゲーミフィケーション
熟考すべきはゲーム要素ではなく、その後の長期的なモチベーションに繋がる
「価値」 SMM Lab ソーシャルメディアマーケティングラボ
<http://smmlab.jp/?p=19553>
13. ジェーン・マクゴニガル著「幸せな未来は『ゲーム』が創る」（早川書房）

謝辞

本研究は東北大学大学院環境科学研究科博士後期 3 年の課程に在学中に大学院環境科学研究科・田路和幸教授指導のもとに行ったものである。田路和幸教授にはこのような機会を与えていただき、また、並々ならぬご指導、ご鞭撻をいただき感謝しております。そして、この論文をまとめるにあたり多くのご指導、そして、審査をいただきました東北大学大学院環境科学研究科・高橋弘教授、古川柳蔵准教授、高橋英志准教授には感謝を申し上げます。

序論、第 2 章をまとめるにあたり、ソニー株式会社クリエイティブセンターのメンバーには多くの協力をいただきました。

第 3 章をまとめるにあたり、東北大学大学院工学研究科 石田壽一教授、藤山真美子助手、また、第 4 章をまとめるにあたり、東北大学大学院環境科学研究科 三ヶ田伸也助手、錦織真也建築設計事務所・錦織真也様、小田和弘建築設計事務所・小田和弘様、ソニービジネスソリューション株式会社、志賀俊孝様、江成正彦様、デルタ電子(株)、窪田正様、(株) KAKIMOTO 柿本宏様、深澤清様 東北大学 東北復興次世代エネルギー研究開発プロジェクト特任教授・霜山忠男様、室長・熊谷功様、早川昌子様、物部朋子様には多大なるご協力をいただきました。

この場をお借りして感謝の意を表します。